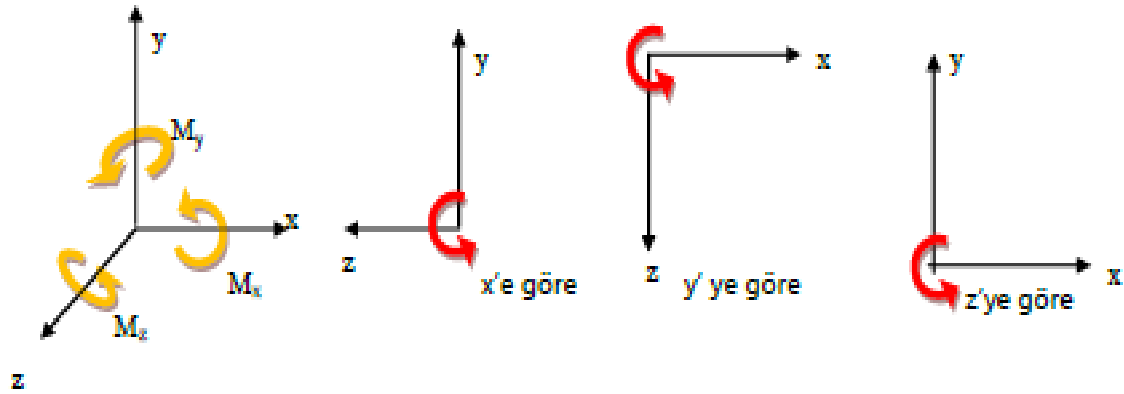


BÖLÜM 1

TEMEL KAVRAMLAR

a) Statik Denge:

$$\Sigma F = 0 \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \rightarrow + \\ \Sigma F_y = 0 \uparrow + \\ \Sigma F_z = 0 \swarrow + \end{cases}$$



$$\Sigma M = 0 \begin{cases} \Sigma M_x = 0 \curvearrowright + \\ \Sigma M_y = 0 \curvearrowright + \\ \Sigma M_z = 0 \curvearrowright + \end{cases}$$

b) Dinamik Denge:

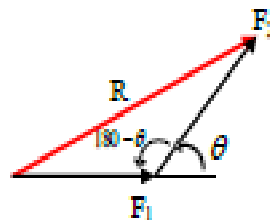
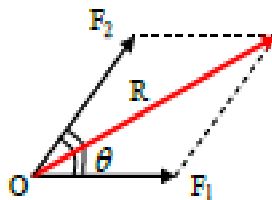
$$\Sigma F = m a$$

↓ ↓
Kütle ivme

$$\Sigma M = I . \alpha$$

↓ ↓
Kütleli
Atalet Açılal
İvme

c) Paralelkenar Kuralı:



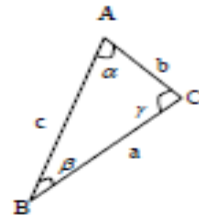
$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cdot \cos(180 - \theta)$$

* Aralarındaki 90° ise;

$$\theta = 90^\circ$$

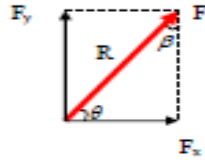
$$R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

* cos Teoremi:



$$\begin{aligned}a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \\b^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta \\c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma\end{aligned}$$

* sin Teoremi (Lami): $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$

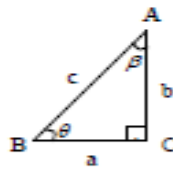


$\theta + \beta = 90^\circ$ ise:

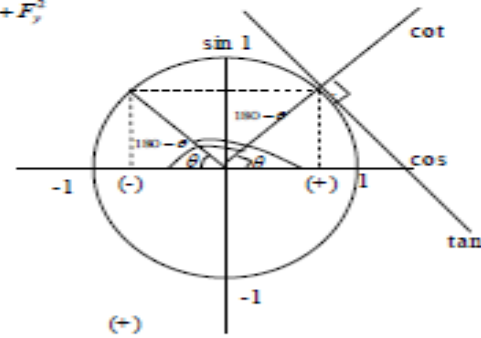
$$\begin{aligned}F_y &= F \cdot \sin \theta = F \cdot \cos \beta \\F_x &= F \cdot \cos \theta = F \cdot \sin \beta\end{aligned}$$

$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x} \Rightarrow \theta = \text{Arc tan} \frac{F_y}{F_x}$$

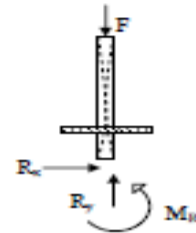
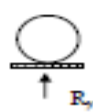
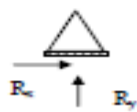
F_x ve F_y biliniyorsa $\Rightarrow F^2 = F_x^2 + F_y^2$



$$\begin{aligned}\sin \theta &= \frac{b}{c} & \tan \theta &= \frac{b}{a} \\ \sin \beta &= \frac{a}{c} & \tan \beta &= \frac{a}{b} \\ \cos \theta &= \frac{a}{c} & \tan \theta &= \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \\ \cos \beta &= \frac{b}{c} & \tan \beta &= \frac{\sin \beta}{\cos \beta}\end{aligned}$$

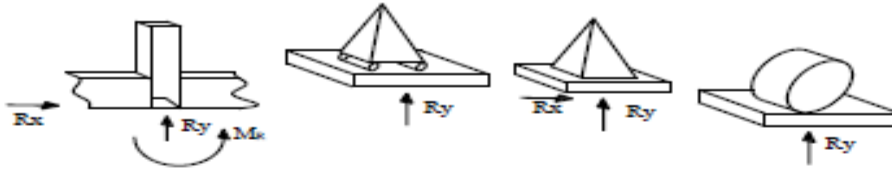


d) Destekler:

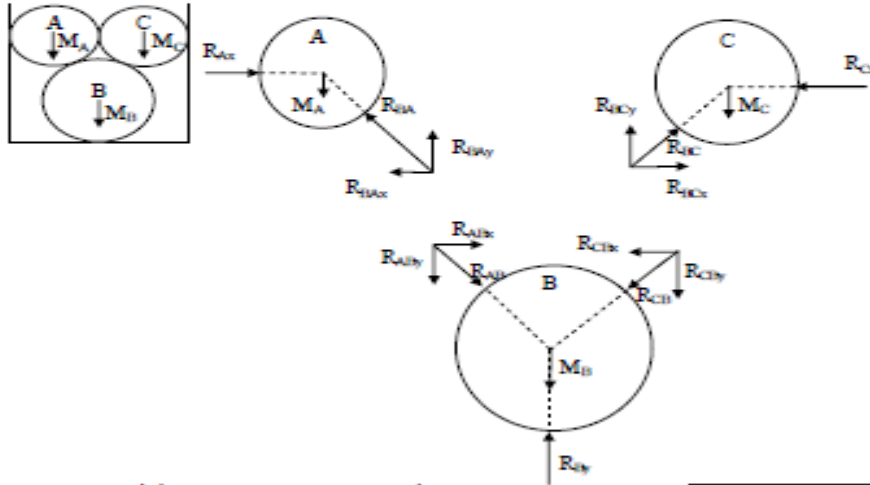


Hareket eden
Tepki Vezmez!

Dr. M.



e) Etki-Tepki Prensibi:



SERBEST CİSİM DENGİ DENKLEMLERİ:

* A için;	$\Sigma F_x = 0$	$R_{Ax} - R_{Bx} = 0 \dots (1)$
	$\Sigma F_y = 0$	$R_{By} - M_A = 0 \dots (2)$
* C için;	$\Sigma F_x = 0$	$R_{Cx} - R_{Bx} = 0 \dots (3)$
	$\Sigma F_y = 0$	$R_{By} - M_C = 0 \dots (4)$
* B için;	$\Sigma F_x = 0$	$R_{Ax} - R_{Cx} = 0 \dots (5)$
	$\Sigma F_y = 0$	$R_{By} - M_B - R_{Ay} - R_{Cy} = 0 \dots (6)$

Bilinenler	Bilinmeyenler	
$-M_A$	$-R_{Ax}$	$-R_{Ay} = R_{By}$
$-M_B$	$-R_{Cx}$	$-R_{By} = R_{Cy}$
$-M_C$	$-R_{By}$	

Konstrüksiyon, herhangi bir teknik sistemin ödevini belirlenmesi, uygulanacak fiziksel prensiplerin saptanması, bu prensipleri sağlayan elemanların seçimi, bunların montaj ve parça resimlerinin hazırlanmasına kadar geçen bütün faaliyetleri kapsamaktadır.

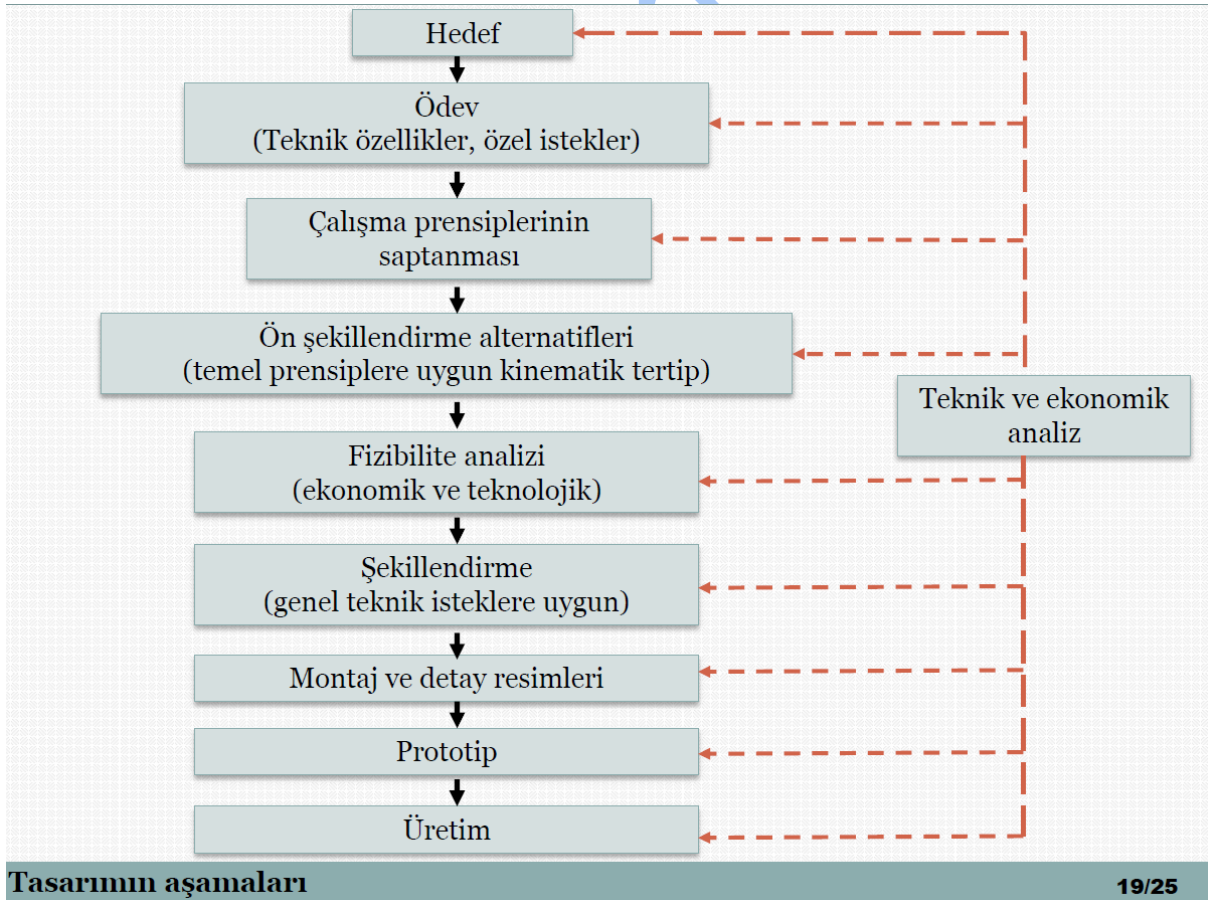
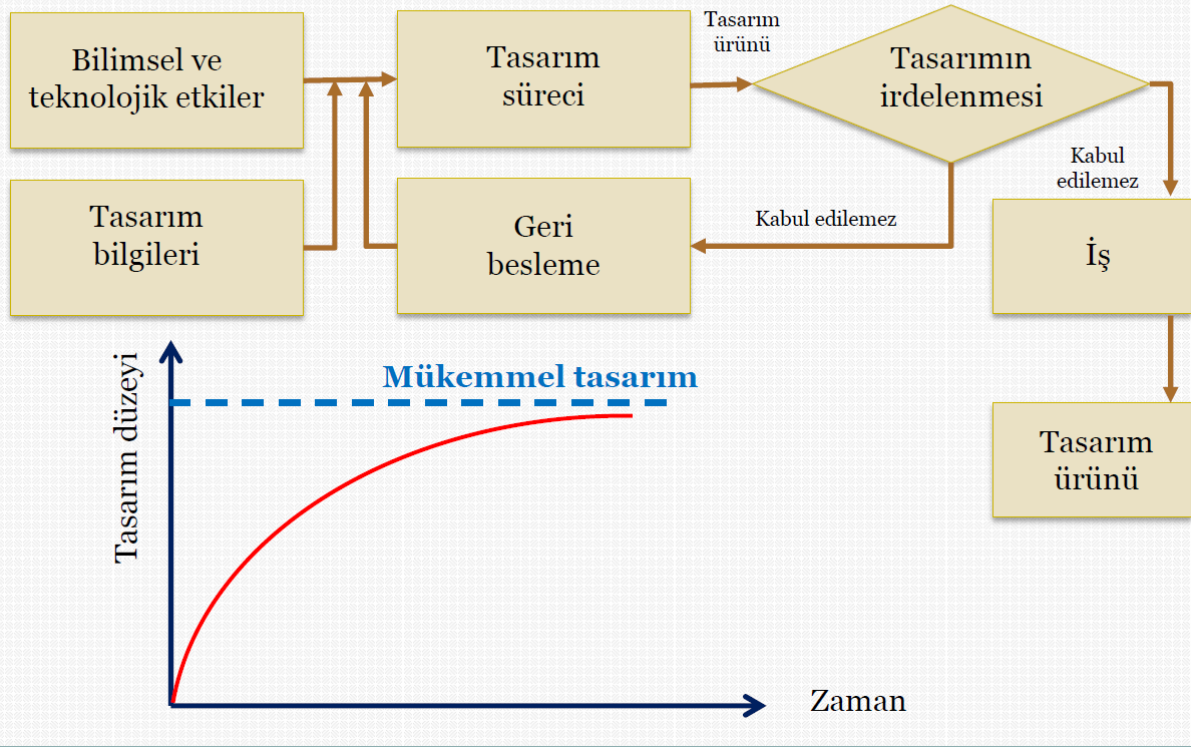


Tasarım yapmak, belirli bir ihtiyacı karşılayacak bir plan formüle etmek veya bir problemi çözmektir.

Eğer bu plan fiziksel bir realite ortaya çıkaracaksa yani bir ürün elde edilecekse, bu ürün aşağıda belirtilen özellikleri taşımalıdır:

- ✓ **Fonksiyonel:** Ürün belirtilen ihtiyacı gidermeli ve müşteriyi memnun etmelidir.
- ✓ **Emniyetli:** Ürün çevreye, kullanıcıya zarar vermemelidir.
- ✓ **Güvenilir:** Belirlenen süre zarfında ürün kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmelidir.
- ✓ **Rekabetçi:** Ürün piyasada bir yarışçıdır.
- ✓ **Kullanılabilirlik:** Ürün kullanıcı dostu olmalıdır.
- ✓ **Üretilebilirlik:** Ürün minimum parça sayısına sahip olmalı, seri üretime uygun olmalı
- ✓ **Pazarlanabilirlik:** Ürün, hedef kitlenin alım gücüne uygun olmalı,

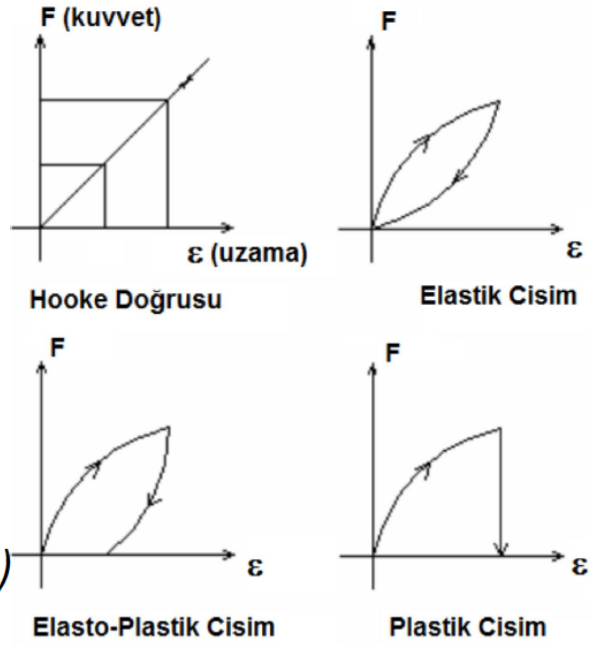
Tasarımın temel felsefesi Asimow tarafından özetlenmiştir.



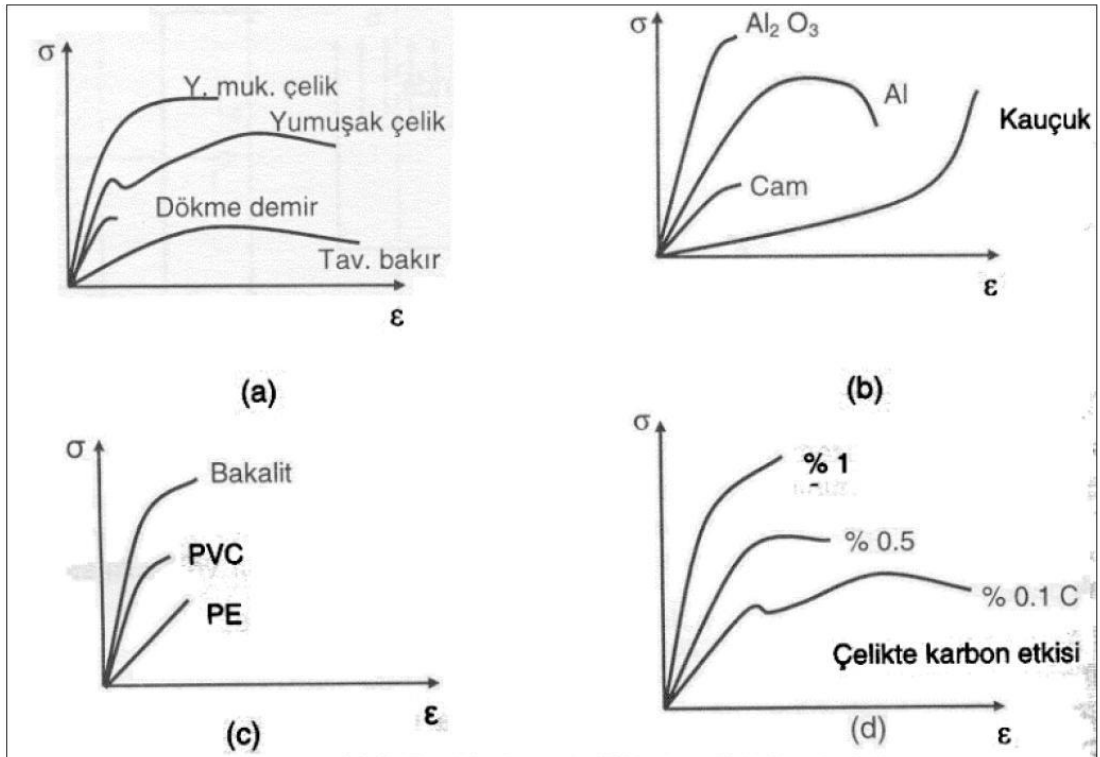
Mukavemete Giriş ve Tanımlar

Bilinmesi gereken terimler; (Sınıflandırma)

- Şekil Değiştiren Cisim
- Rijit Cisim
- Elastik Cisim
- Plastik cisim
- Elasto-plastik Cisim
- Homojen Cisim (İzotrop)
- Hooke Yasası (Hooke Eğrisi)



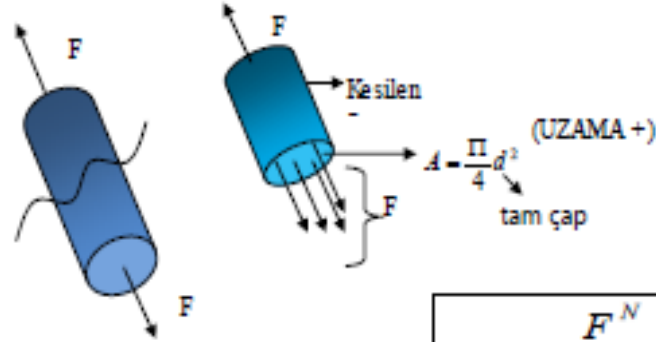
Gerilme-şekil değiştirme diyagramı



BÖLÜM 2

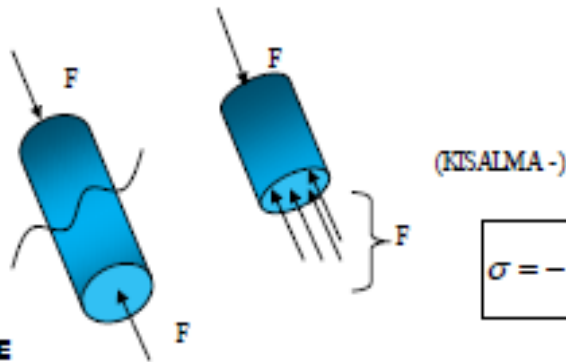
TEMEL GERİLMELER

1-) ÇEKME:



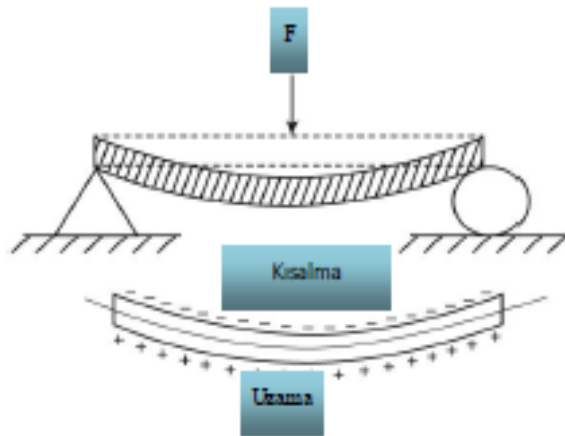
$$\sigma = \frac{F^N}{A \text{ m}^2}$$

2-) BASMA:



$$\sigma = -\frac{F}{A}$$

3.)EĞİLME



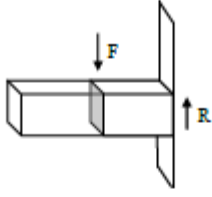
$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{I}{c}} = \frac{M \cdot c}{I}$$

M_e = Eğilme momenti (N.mm)
 c = Asal ekseninde en uzak mesafe (mm)
 I = Atalet momenti (mm⁴)

(σ = DİK GERİLMELER)

4-) KESME:



$$\frac{N}{mm^2} \tau = \frac{F^N}{A_{mm^2}}$$

→ NORMAL KESME

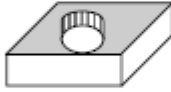
$$\tau = k \cdot \frac{V}{A}$$

→ EĞİLMEDEKİ KESME

Sbt (Kesit biçimine göre değişir)

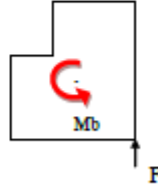
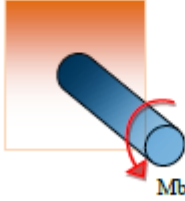
k üçgen, daire = 1,33
k dikdörtgen = 1,5
k boru = 2
k profil = 1

* τ 'nın σ 'dan farkı; kuvvetin yüzeye Paralel Olması ve kesilen alanların Çekme ve Basma Alanlarından Farklı Olması



$$A = \pi d \cdot s$$

5-) BURULMA:



$$\tau = \frac{M_b \cdot c}{I_p}$$

M_b = Burulma Momenti (Nmm)

$$\sigma = \frac{M}{W_p} = \frac{M}{\frac{I_p}{c}} = \frac{Mc}{I_p}$$

c = Asal eksenenden en uzak mesafe (mm)

I_p = Polar Atalet Momenti (mm⁴)

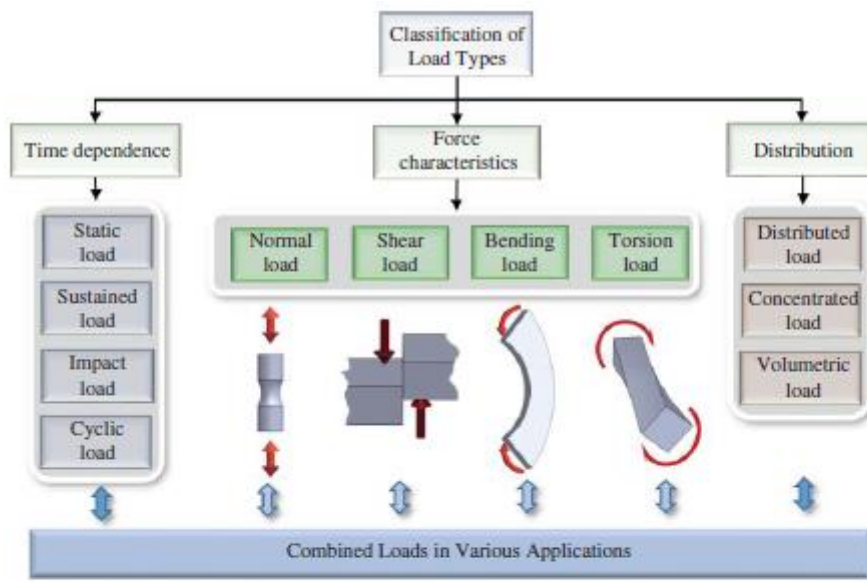


Figure 1.23 Classification of load types.

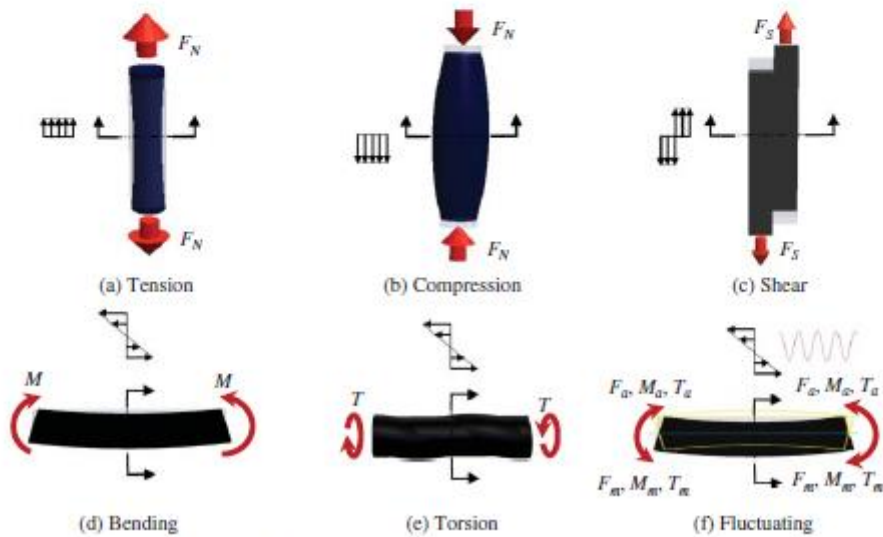


Figure 1.24 Stress types corresponding to different types of loads.

1. MAKİNA TASARIMINDA MUKAVEMET HESAP YÖNTEMİNİN ESASLARI

1.1. Gerilmeler ve Emniyet Katsayısı

Dış kuvvetlerin ve/veya momentlerin etkisi altındaki bir makine parçasının herhangi bir kesitinde tepki olarak iç kuvvetler meydana gelir. Elemanın kesitinde birim alana isabet eden ve hesap yoluyla tayin edilen iç kuvvetlere **nominal gerilme** adı verilir. İç kuvvetlerin normal (elemanın kesit düzlemine dik) bileşeninin meydana getirdiği gerilmeye **nominal normal gerilme (σ)**, kesit içine düşen (kesite teğet bileşeninin) meydana getirdiği gerilmeye ise **nominal kayma gerilmesi (τ)** denir. Makine parçasının yapıldığı malzemenin ise deneylerle tayin edilen belirli bir mukavemet sınırı (σ^* veya τ^*) değerleri vardır. Mukavemet hesabının amacı bir elemanın dış yüklere karşı dayanımını sağlamak olduğuna göre $\sigma < \sigma^*$ veya $\tau < \tau^*$ şartının sağlanması gerekir. Emniyet fikri esas alındığı takdirde S emniyet katsayısı olmak üzere $\sigma \leq \frac{\sigma^*}{S}$ veya $\tau \leq \frac{\tau^*}{S}$ şeklinde yazılabilir. Emniyet şartına göre $S = \frac{\sigma^*}{\sigma} > 1$ veya $S = \frac{\tau^*}{\tau} > 1$ olması gerekir.

Emniyet katsayısı için belirli bir değer yoktur ve her tasarım için çalışma şartları, dış yükler ve kullanılacak olan malzemeler dikkate alınarak belirlenir. Eğer emniyet katsayısı büyük seçilirse tasarımı yapılan elemanın boyutları büyür, dolayısıyla malzeme ve işçilik kaybına neden olur. Küçük seçilmesi halinde ise elemanın kopma ihtimali artar.

1.2. Zorlanma (Yüklenme) Şekilleri

Bir makine elemanında dış yüklerden dolayı meydana gelen zorlanmalar statik ve değişken olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Statik zorlanma, elemana etkiyen kuvvet veya momentin dolayısıyla elemanın kesitinde meydana gelen gerilmelerin zamana göre sabit veya çok uzun zaman zarfında çok az değiştiği zorlanma şeklidir **Şekil-1.1a**.

Değişken zorlanma, elemana etkiyen kuvvet veya momentin, dolayısıyla elemanın kesitinde meydana gelen gerilmelerin zamana göre değiştiği zorlanma şeklidir **Şekil-1.1b,c,d**. Değişken gerilmeler maksimum $\sigma_{\max}$ ve minimum $\sigma_{\min}$ olmak üzere iki değer arasında değişir. Değişken zorlanmalarda meydana gelen gerilmeleri ortalama gerilme;

$$\sigma_0 = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$$

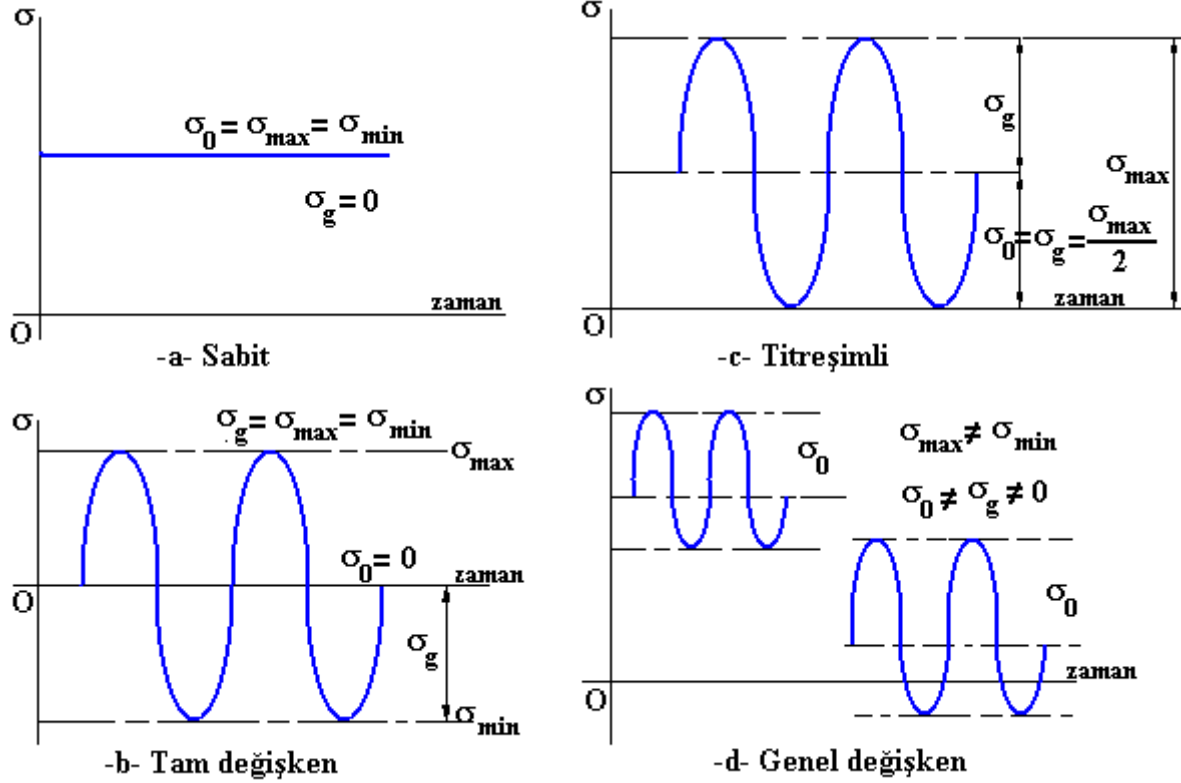
ve gerilme genliği;

$$\sigma_g = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$$

karakterize eder. Bu bağlantılara göre maksimum ve minimum gerilmeler;

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \sigma_g \quad \text{ve} \quad \sigma_{\min} = \sigma_0 - \sigma_g$$

şeklinde yazılabilir.

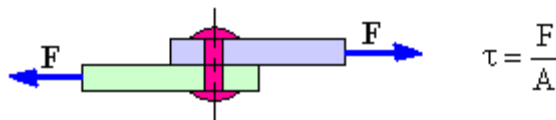


Şekil-1.1 Zorlanma şekilleri

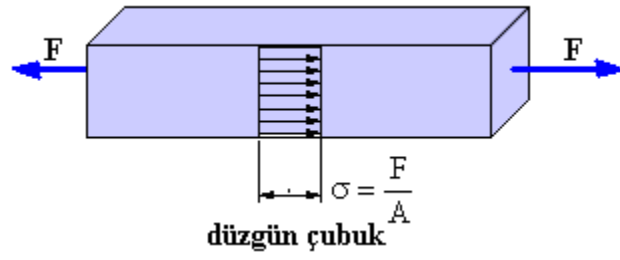
1.3. Nominal Gerilmeler

1.3.1 Basit Gerilmeler

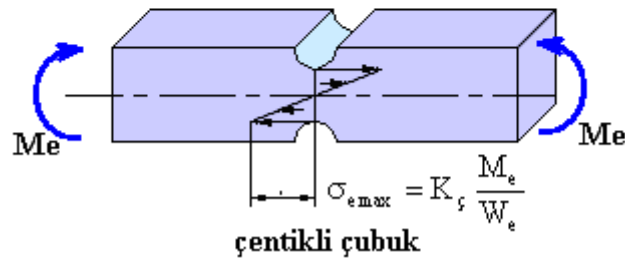
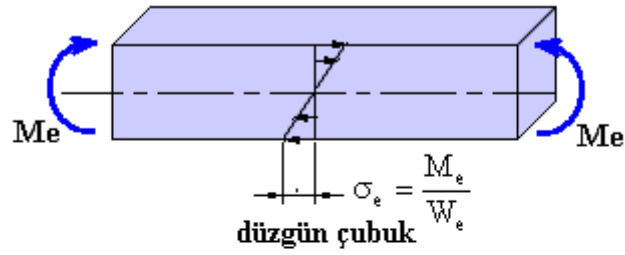
➤ Kesme



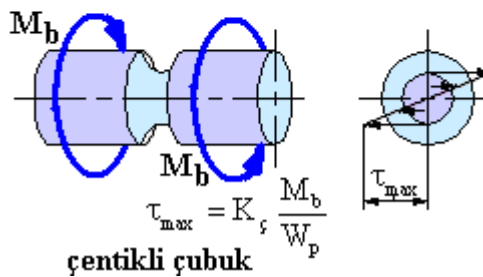
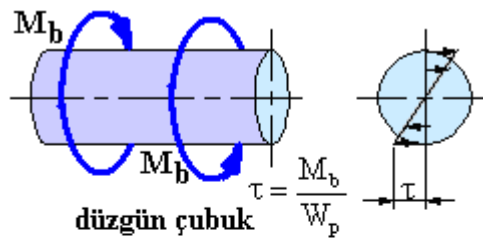
➤ Çekme



➤ Eğilme



➤ Burulma



Bu bağılantılarda;

$F \Rightarrow$ kuvvet

$M_e \Rightarrow$ eğilme momenti

$M_b \Rightarrow$ burulma momenti

$A \Rightarrow$ kesit alanı

$W_e \Rightarrow$ eğilme direnç momenti $\Rightarrow W_e = \frac{I}{e_{\max}}$

$W_b \Rightarrow$ burulma direnç momenti $\Rightarrow W_b = 2.W_e$

$I \Rightarrow$ eylemsizlik momenti

$e_{\max} \Rightarrow$ tarafsız eksen den en uzak lifin uzaklığıdır.

Makine konstrüksiyonunda burulma momenti yerine genellikle iletilecek güç (P) ve dönme hızı (n) belirlidir. Buna göre burulma momenti;

$$M_b = \frac{P}{\omega} = \frac{30.N}{\pi.n}$$

veya $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1000 [\text{Nm/sn.}]$ bağıntısı ile;

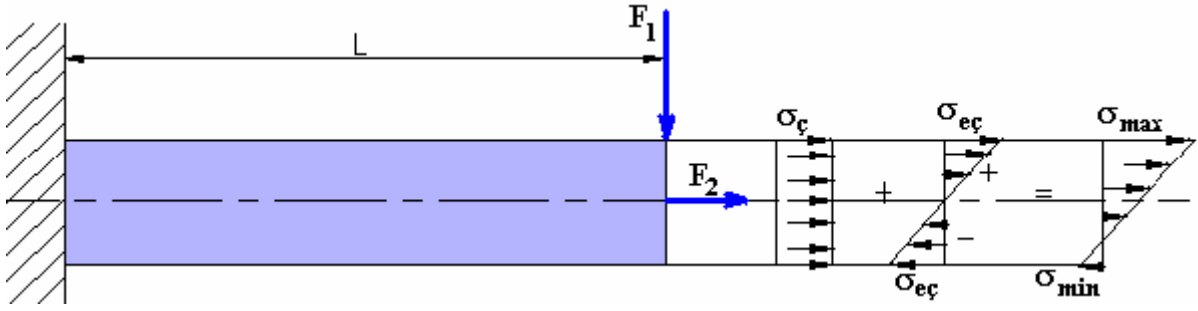
$$M_b = 9550 \frac{P}{n} [\text{Nm.}] = 955 [\text{daNm.}]$$

bulunur. Burada; güç P [kW], devir sayısı n [d/dak]'dır.

1.3.2 Bileşik Gerilmeler

Makine elemanları bazı hallerde birden fazla basit gerilmeye aynı anda maruz kalır. Bu tür gerilme halleri iki veya üç eksenli gerilme hallerinden ibaret olup **bileşik gerilme** adını alır. Bileşik gerilmelerin hesabında süperpozisyon prensibi esas alınır. Yani elemanda meydana gelen gerilmeler ayrı ayrı hesaplanarak doğrudan veya mukavemet hipotezleriyle birleştirilir. Gerilmelerin birleştirilmesiyle elde edilen eşdeğer gerilme elemanın boyutlandırılmasında esas teşkil eder.

➤ **Normal Gerilmeler;** Eğer bir makine elemanının herhangi bir kesitinde aynı anda çekme ve eğilme gerilmesi meydana geliyorsa bu gerilmeler ayrı ayrı hesaplandıktan sonra vektörel olarak toplanır **Şekil-1.2.**



Şekil-1.2 Bileşik gerilme (çekme + eğilme)

Şekil-1.2'deki yükleme durumunda toplam gerilme, çekmeye zorlanan üst bölgede;

$$\sigma_{\zeta Top} = \sigma_{max} = \sigma_{\zeta} + \sigma_{e\zeta} = \frac{F}{A} + \frac{M_e}{W_e}$$

ve basmaya zorlanan alt bölgede;

$$\sigma_{\zeta bTop} = \sigma_{min} = \sigma_{\zeta} - \sigma_{e\zeta} = \frac{F}{A} - \frac{M_e}{W_e}$$

şeklinde elde edilir. Burada A elemanın kesit alanı, W_e mukavemet momentidir. Elemanda basma ve eğilme gerilmeleri meydana gelmesi durumunda eşdeğer gerilme benzer şekilde bulunur.

► **Eğilme ve burulma;** Bu durumda eğilme ve burulma gerilmeleri hesaplanır ve belirli bir mukavemet hipotezine göre birleştirilir. Kontrol hesabı için eşdeğer gerilme, boyutlandırma için eşdeğer moment kullanılır. Eşdeğer gerilmenin bulunmasında kullanılan mukavemet veya kopma hipotezleri dört ana grupta toplanabilir.

1. **Maksimum normal gerilme hipotezi;** Bu hipoteze göre bir makine parçasında meydana gelen en büyük asal gerilme malzemenin akma veya kopma mukavemetine eşit olduğunda elemanda akma veya kopma meydana gelir. Bu hipoteze göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_B = \frac{1}{2} \left(\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right)$$

ve eşdeğer moment;

$$M_B = \frac{1}{2} \left(M_e + \sqrt{M_e^2 + M_b^2} \right)$$

şeklinde yazılır.

2. **Maksimum şekil değiştirme hipotezi;** Bu hipotezde; kopma ve kırılmanın, uzamanın belirli bir sınırı geçmesinden kaynaklandığı öne sürülmüştür. Bu hipoteze göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_B = 0.35 \sigma + 0.65 \sqrt{\sigma_e^2 + 4\tau_b^2}$$

ve eşdeğer moment;

$$M_B = 0.35 M_e + 0.65 \sqrt{M_e^2 + M_b^2}$$

bağıntıları ile tayin edilir. Bu hipoteze göre kayma gerilmesi ile normal gerilme arasında;

$$\tau = \frac{\sigma}{1.3}$$

bağıntısı vardır.

- 3. Maksimum kayma gerilmesi hipotezi;** Bu hipoteze göre bir makine elemanında akma; bu elemanda meydana gelen en büyük kayma gerilmesi, malzeme için çekme deneyi sırasında meydana gelen en büyük kayma gerilmesine eşit olduğu durumda oluşur. Bu hipoteze göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_B = \sigma_1 - \sigma_2 = 2\tau_{\max}$$

veya σ_1, σ_2 yerine $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$ değerleri konursa;

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

ve eşdeğer moment;

$$M_B = \sqrt{M_e^2 + M_b^2}$$

şeklinde yazılır. Bu hipoteze göre kayma gerilmeleri ve normal gerilmeler arasında;

$$\tau = 0.5\sigma$$

bağıntısı vardır.

- 4. Maksimum biçim değiştirme enerjisi hipotezi;** Kopma, üç eksenli gerilme halinde birim hacme düşen maksimum şekil değiştirme enerjisinin belirli bir değeri aşması halinde meydana gelir. Bu hipoteze göre üç eksenli gerilme durumunda;

$$\sigma_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

iki eksenli gerilme durumunda ise;

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

olup asal gerilme değerleri yerine konursa eşdeğer gerilme;

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

şeklinde elde edilir. Eşdeğer moment ise;

$$M_b = \sqrt{M_e^2 + 0.75 M_t^2}$$

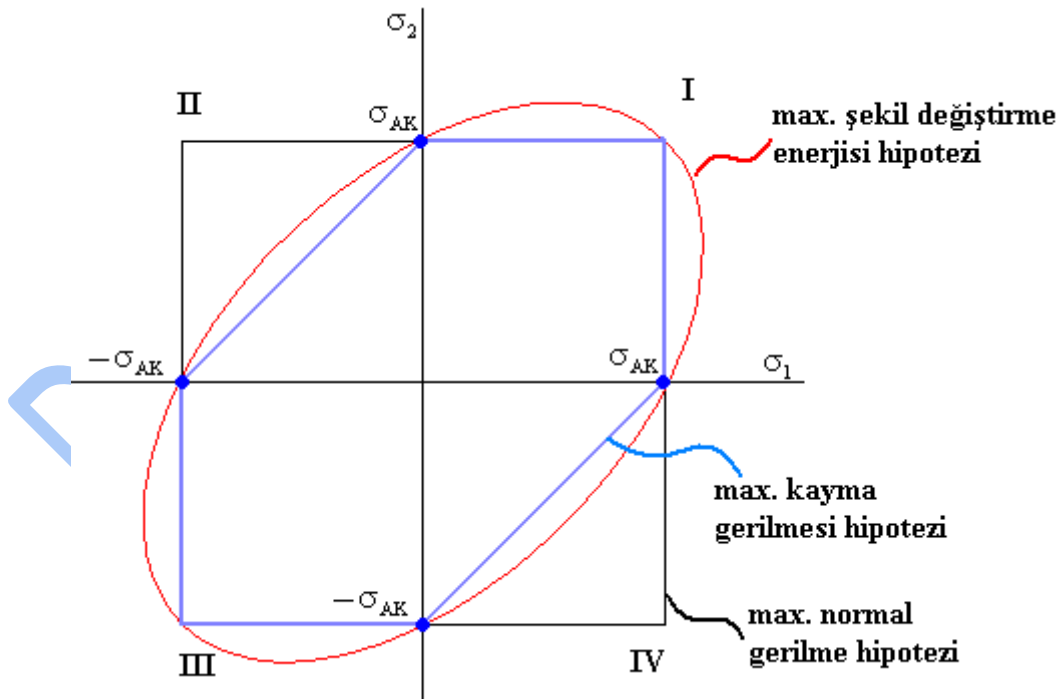
dir. Özellikle sünek malzemeler için yapılan deneyler bu hipotez ile iyi uyum göstermektedir. Bu hipoteze göre basit kayma gerilmesi halinde $\sigma = 0$ olup;

$$\sigma_B = \sqrt{3} \tau = 1.73 \tau \quad \text{veya} \quad \tau = 0.577 \sigma_B$$

dir.

• Hipotezlerin Karşılaştırılması;

Üç kırılma hipotezine ait değerler σ_1, σ_2 koordinat sisteminde gösterilirse şekildeki grafik elde edilir. Bu grafikteki maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezine ait elips, deneysel değerler ile iyi uyum içindedir. Maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezinin en doğru sonuçları verdiği dikkate alınırsa, maksimum kayma gerilmesi hipotezinin verdiği tüm değerler emniyetli bölgede olur. Çünkü bu değerlere ait grafik şekil değiştirme enerjisi elipsi içinde kalmaktadır.



Maksimum normal gerilme hipotezi de I. ve III. bölgelerde kayma gerilmesi hipotezi ile aynıdır. II. ve IV. bölgelerde normal gerilme hipotezi grafiği, şekil değiştirme enerjisi hipotezinin elipsi dışında kalmaktadır. Buna göre maksimum normal gerilme hipotezi II. ve IV. bölgeye düşen gerilmeler için uygun değildir.

1.4. Değişken Zorlanma ve Yorulma Olayı

Genellikle makine elemanları değişken yüklere ve gerilmelere maruzdur. Yükler statik olsa dahi çalışma esnasında elemanın kesitinde tam değişken gerilmeler meydana gelebilir. Değişken gerilmelerin meydana geldiği makine elemanlarında, gerilmelerin maksimum değerleri yerine bunların genliği ve periyodik değişimi (yük tekrarı) önemlidir. Değişken gerilmeler makine elemanının iç bünyesinde yıpranmalar ve ayrılmalar doğurur ve bunun sonucu malzemede kopma olayı statik kopma sınırının çok altında meydana gelir. Değişken gerilmeler nedeniyle malzemenin iç bünyesindeki değişikliklere **yorulma** ve elemanın kopuncaya kadar dayandığı yük tekrarına elemanın **ömrü** denir.

Yorulma kırılması denilen olay ortalama gerilme (σ_0) ile gerilme genliğine (σ_g) bağlıdır. Bu konuda ilk deneyler 1866'da Wöhler tarafından yapılmıştır. Bu nedenle gerilme genliği ile yük tekrarı arasındaki ilişkiyi veren eğrilere **Wöhler eğrileri** adı verilir. Bir Wöhler eğrisi logaritmik ölçekle çizilirse **Şekil-1.3**'dekine benzer bir değişim elde edilir.



Şekil-1.3 Logaritmik koordinatlarda Wöhler Eğrisi

Şekil-1.3'te görüldüğü gibi Wöhler eğrisi iki kısımdan oluşur. Eğrinin eğimli olan bölgesine ait mukavemet değerlerine **zaman mukavemeti** (σ_{DN}), eğrinin yatay bölgesine ait değerlere ise **sürekli mukavemet değerleri** (σ_D) denir.

Gerilme değişimi sayısı (N) arttıkça σ_g azalır ve belirli bir gerilme değişme sayısı (N_0) için malzemenin hiç kırılmadan devamlı olarak dayandığı bir gerilme genliğine gelir. Bu gerilme genliğine **sürekli mukavemet sınırı** (σ_D) ve buna karşılık gelen yük tekrarı sayısına **sonsuz ömür sınırı** (N_0) adı verilir. Çelik malzemelerde bu değer 10^6 ile 10^7 değerleri arasında değişir. Çelik ve dökme demir olmayan malzemelerde Wöhler eğrisinin yatay kısmı yoktur. Bu tür malzemeler için deneyler yapılarak N_0 belirlenir ve buna karşılık gelen gerilme değeri sürekli mukavemet sınırı olarak kullanılır.

Değişken zorlanmalarda malzemenin yorulma mukavemetini bulmak için sabit bir ortalama gerilme (σ_0) üzerine farklı gerilme genlikleri (σ_g) bindirilerek standart deney çubukları üzerinde, elemanlar kopuncaya kadar

yüklemeler tekrarlanır. Böylece her deney çubuğu için σ_g ve N değerleri belirlenerek Wöhler diyagramı elde edilir.

Pratikte deneyler genellikle $\sigma_0 = 0$ yani tam değişken zorlanma hali için yapılır.

Genellikle deneylerde elde edilen yorulma mukavemet sınırları belirli bir dağılım gösterir. Bu değerleri iki sınır eğri arasında toplamak mümkündür. Klasik mukavemet hesaplarında mukavemet değerleri olarak %50 güvenilirliğe karşılık gelen ortalama eğri üzerindeki değerler kullanılır.

İstatistik ilkelerine göre yapılan deneyler malzemelerin sürekli mukavemet sınırlarının, statik kopma mukavemet sınırına bağlı olduğunu göstermiştir. Buna göre, %50 güvenilirlik için malzemelerin sürekli mukavemet sınırları aşağıda verilen bağlantılardan tayin edilebilir.

Çelikler	
Eğilme	$\sigma_K \leq 1400 \text{ N/mm}^2$ ise $\sigma_D = 0.5\sigma_K$
	$\sigma_K > 1400 \text{ N/mm}^2$ ise $\sigma_D = 700 \text{ N/mm}^2$
Çekme-basma (eksenel zorlanma)	$\sigma_K \leq 1400 \text{ N/mm}^2$ ise $\sigma_{\zeta D} = 0.40\sigma_K$
	$\sigma_K > 1400 \text{ N/mm}^2$ ise $\sigma_{\zeta D} = 600 \text{ N/mm}^2$
Burulma (enerji varsayımına göre)	$\tau_D \cong 0.58\sigma_D \cong 0.58(0.5\sigma_K) \cong 0.29\sigma_K$

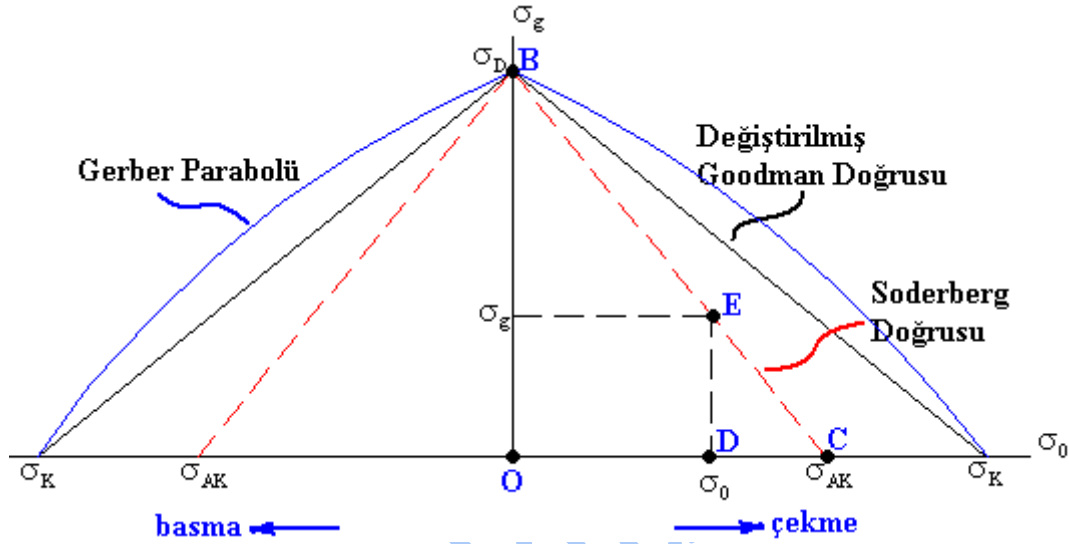
Dökme Demir ve Dökme Çelik	
Eğilme	$\sigma_D = 0.4\sigma_K$
Burulma (enerji varsayımına göre)	$\tau_D \cong 0.8\sigma_D \cong 0.8(0.4\sigma_K) \cong 0.32\sigma_K$

Bu değerler tam değişken zorlanma için geçerlidir.

Yorulma deneyleri genel değişken zorlanma hali için yapılacak olursa her σ_0 ve σ_g değerine karşılık bir mukavemet sınırı tayin etmek gerekir. Bu zorlanmalar çok geniş bir zorlanma alanını kapsadığından her hal için

bir mukavemet sınırı tayin etmek pratik bakımdan çok zordur. Bu nedenle genel değişken zorlanmalar için mukavemet sınırları **Goodman-Soderberg ve Smith** diyagramları yardımıyla tayin edilir.

Çeşitli zorlanma şekilleri için yorulma deneyleri değişik sabit ve tam değişken yüklemelerin birleştirilmesi ile yapılarak elde edilen sürekli mukavemet sınırı (σ_D) değerleri; düşey eksen σ_g , yatay eksen σ_0 olan bir eksen takımı üzerinde gösterilebilir **Şekil-1.4**. Elde edilen diyagramda; yatay eksen (σ_0) esas statik zorlanma halini ($\sigma_g = 0$), düşey eksen (σ_g) ise tam değişken zorlanma halini ($\sigma_0 = 0$) göstermektedir.



Şekil-1.4 Goodman-Soderberg Diyagramı

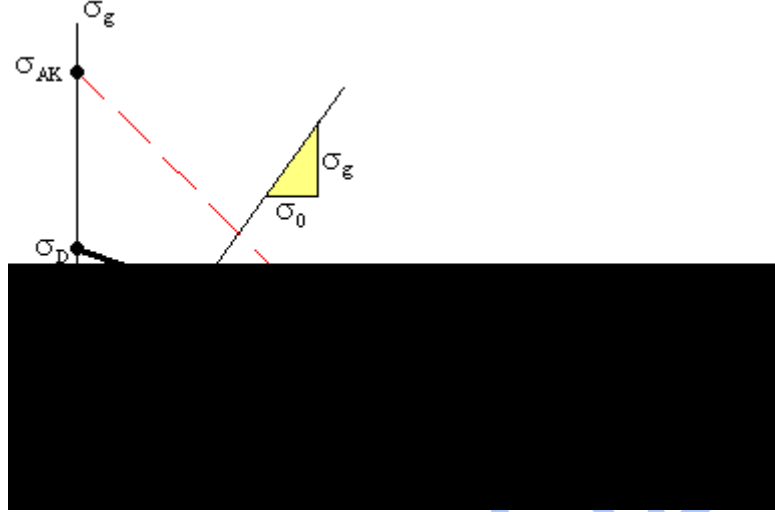
Statik zorlanma ile tam değişken zorlanma arasında ise genel değişken zorlanma şekilleri yer alır. Deneysel değerlere en uygun olan bir eğri çizilirse, yorulma nedeniyle meydana gelen kopma eğrisi elde edilir. Bu eğri bir parabol olup **Gerber eğrisi** olarak adlandırılır. Pratikte bu eğri yerine σ_D ve σ_K noktalarını birleştiren Goodman doğrusu veya σ_D ve σ_{AK} noktalarını birleştiren Soderberg doğrusu kullanılır. Soderberg doğrusu esas alınırsa bu doğru üzerindeki E noktasına ait σ_g ile σ_0 arasındaki bağıntı CDE ve OBC benzer üçgenlerinden;

$$\frac{\sigma_g}{\sigma_D} = \frac{\sigma_{AK} - \sigma_0}{\sigma_{AK}}$$

veya $\sigma_g = \sigma_D - \left(\frac{\sigma_D}{\sigma_{AK}} \right) \sigma_0 = \left(1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{AK}} \right) \sigma_D$ şeklinde yazılabilir. Eğer Goodman diyagramı dikkate alınırsa elde edilen ifade de σ_{AK} yerine σ_K konur.

Bazı hallerde Soderberg diyagramı değişik bir şekilde kullanılır **Şekil-1.5**. Bu halde kopma çizgisi (σ_D -B- σ_{AK}) iki kırık doğru parçasından meydana gelir. **Şekil-1.5**'teki B noktası yorulma ile statik kopma arasındaki geçiş noktasıdır. Bu diyagram mukavemet hesabının esasını da vermektedir. Gerilme genliği σ_g ve ortalama gerilmesi

σ_0 olan genel değişken bir gerilme hali için $\frac{\sigma_g}{\sigma_0}$ oranına göre O'da geçen bir doğru çizilir. Eğer bu doğru kopma çizgisinin σ_D -B doğrusu ile kesişirse, kopma yorulma; B- σ_{AK} doğrusu ile kesişirse, kopma akma sonucu meydana geliyor demektir.



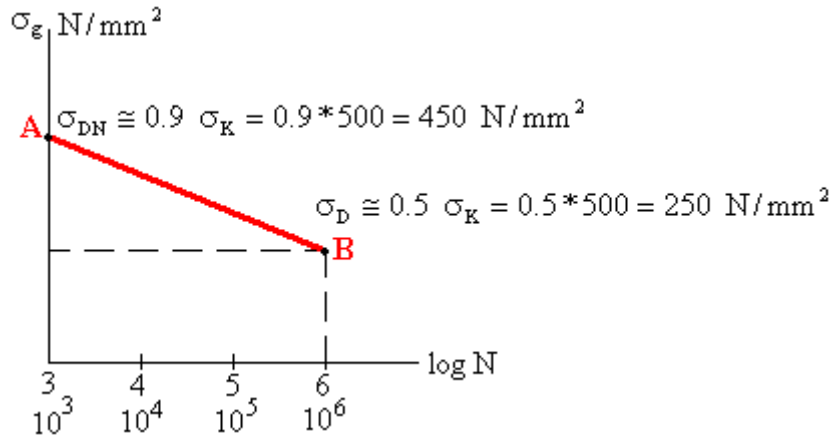
şekil-1.5

Malzemelerin mukavemet sınırları;

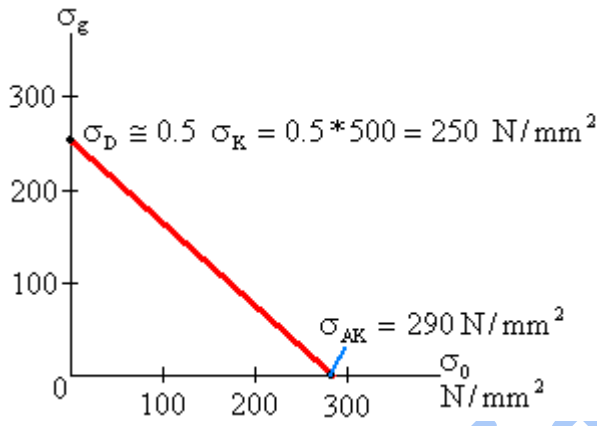
- Sonlu mr hallerinde Wöhler diyagramlarından
- Sonsuz mr hallerinde Soderberg veya Smith-Goodman diyagramlarından alınır.

Sonlu mr bölgesinde malzemenin zaman mukavemeti sınırı $N = 10^3$ yük tekrarı için $\sigma_{DN} \cong 0.9 \sigma_K$ alınırken $N \geq 10^6$ yük tekrarı için sürekli mukavemet sınırı $\sigma_D \cong 0.5 \sigma_K$ alınır. Bu bağlantılar yardımıyla bir malzeme için Wöhler ve Soderberg diyagramları elde edilebilir.

ÖRNEK; St 50 eliğinin akma sınırı $\sigma_{AK} = 290 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Bu elik için Wöhler diyagramı şekil-1.6, Soderberg diyagramı şekil-1.7'deki gibi çizilir.



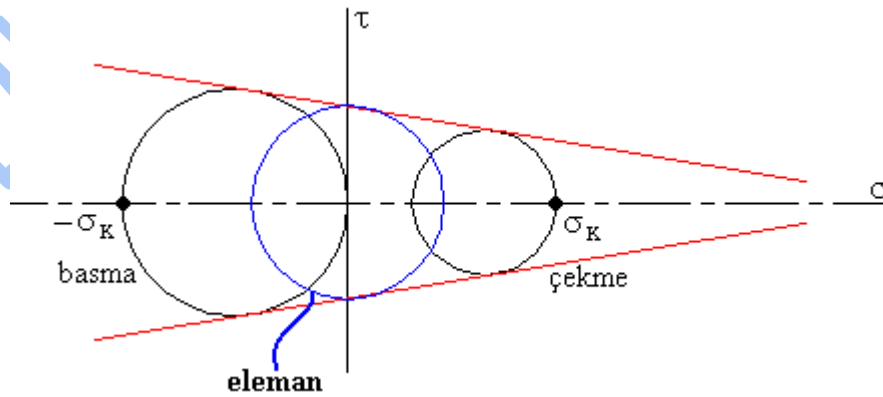
Şekil-1.6



Şekil-1.7

1.4.1 Kırılgan Malzemeler İçin Statik Tasarım Kriterleri

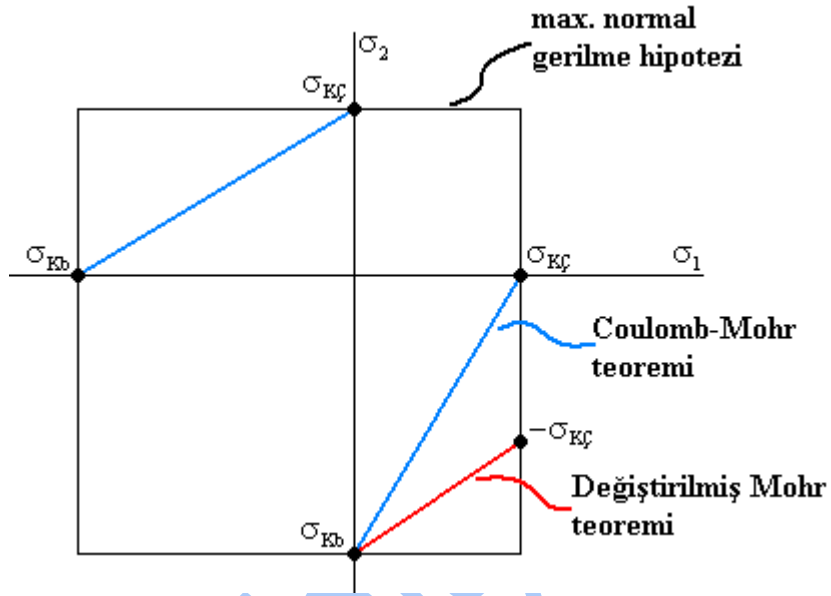
Kırılgan malzemelerin kopması ile ilgili olarak geliştirilen ilk teori **Coulomb-Mohr** teorisidir. Bu teoriye göre kopma, elemana etki eden asal gerilmeleri çap kabul eden daire, çekme ve basma deneylerinin Mohr dairelerinin ortak teğetine değdiği zaman meydana gelir.



Eğer asal gerilmeler $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ olarak tanımlanırsa σ_1 ve σ_3 kritik gerilmeler olur. Buna göre Coulomb-Mohr teoremi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{\sigma_1}{|\sigma_K|} - \frac{\sigma_3}{|-\sigma_K|} = 1 \quad \sigma_1 \geq 0, \sigma_3 \leq 0$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_K} - \frac{\sigma_2}{|-\sigma_K|} = \frac{1}{S}$$



σ_1 ve σ_2 'nin işaretlerinin farklı olduğu yükleme durumlarında teoremler farklı sonuçlar vermektedir. Deneysel çalışmalar Coulomb-Mohr teoreminin emniyetli sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu teoremlere ilave olarak deneysel sonuçlara oldukça uyumlu değerler veren **Değiştirilmiş Mohr Teoremi** ortaya atılmıştır. Bu teorem IV. bölgede $\sigma_3 = -\sigma_K$ oluncaya kadar Max. Normal gerilme hipotezinden farklı değildir.

1.5. Parça Mukavemet Sınırını Etkileyen Faktörler

Makine elemanlarının sürekli mukavemet sınırları (σ_D^*, τ_D^*) standart deney çubukları için laboratuvar koşullarında yapılan deneylerle elde edilen sürekli mukavemet sınırlarından (σ_D, τ_D) farklıdır. Bunun nedeni deney çubuğu ve deney şartları ile makine elemanı ve çalışma şartlarının farklı olmasıdır. Bu nedenle makine elemanlarının sürekli mukavemet değerleri belirlenirken çentik, yüzey pürüzlülüğü ve boyut etkilerinin dikkate alınması gerekir. Buna göre makine elemanlarının sürekli mukavemet sınırları normal gerilmeler için;

$$\sigma_D^* = \frac{K_y \cdot K_b}{K_\epsilon} \sigma_D$$

kayma gerilmeleri için;

$$\tau_D^* = \frac{K_y \cdot K_b}{K_{\zeta\tau}} \tau_D$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$K_y \Rightarrow$ yüzey düzgünlüğü faktörü

$K_b \Rightarrow$ boyut faktörü

$K_\zeta, K_{\zeta\tau} \Rightarrow$ çentik faktörleridir.

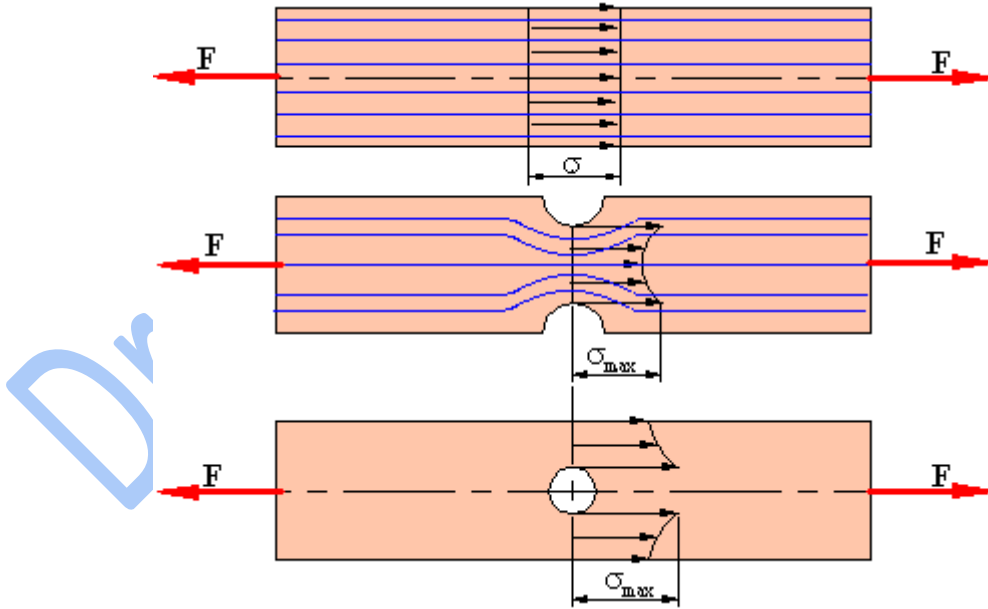
☀ Çentik Etkisi

Basit gerilmelerin yayılış şekli ancak sabit ve sürekli kesitler için geçerlidir. Eleman üzerindeki ani kesit değişikliği, çentik veya delik gibi kuvvet akışını değiştiren noktalarda ve bu noktalar civarında nominal gerilmeye göre ani gerilme artışları meydana gelir **Şekil-1.8**. Bu gerilme artışı $\sigma_{\max} = K_\zeta \cdot \sigma$ şeklinde ifade edilir. Burada;

$\sigma_{\max} \Rightarrow$ çentik bölgesindeki gerilme değeri

$\sigma \Rightarrow$ kesitteki nominal gerilme

$K_\zeta \Rightarrow$ çentik faktörüdür.



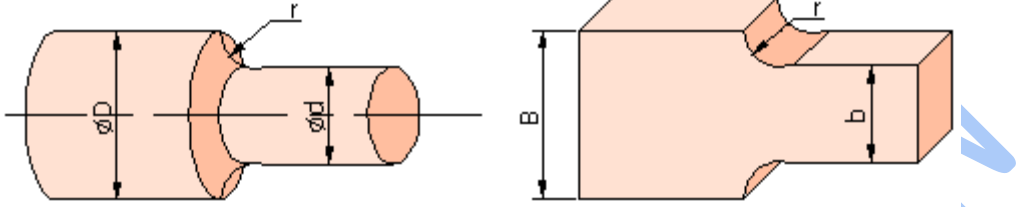
Şekil-1.8 Çentik kisi

K_ζ çentik faktörü, çentiğin geometrik şekline ve malzemenin çentiğe karşı hassasiyetine bağlıdır. Çentiğin geometrik şeklinin etkisi, teorik çentik faktörü (K_t); malzemenin çentiğe karşı hassasiyeti, çentik hassasiyet faktörü (q) ile ifade edilirse, çentik faktörü;

$$K_{\zeta} = 1 + q.(K_t - 1)$$

bağıntısı ile tayin edilir. Çentik olayı malzemenin sürekli mukavemet sınırını azaltan bir etki yapar. Çentik olayı, çentiğin yuvarlatma yarıçapı (r) ve esasen kesit değişikliğini gösteren çentik derinliği (t) tarafından etkilenir.

Çentiğin derinliği plakalarda genişlik oranı $\frac{B}{b}$ ve silindirik çubuklarda $\frac{D}{d}$ ile temsil edilebilir. Çentik etkisini azaltmak için çentik yuvarlatma yarıçapı büyük yapılmalıdır.

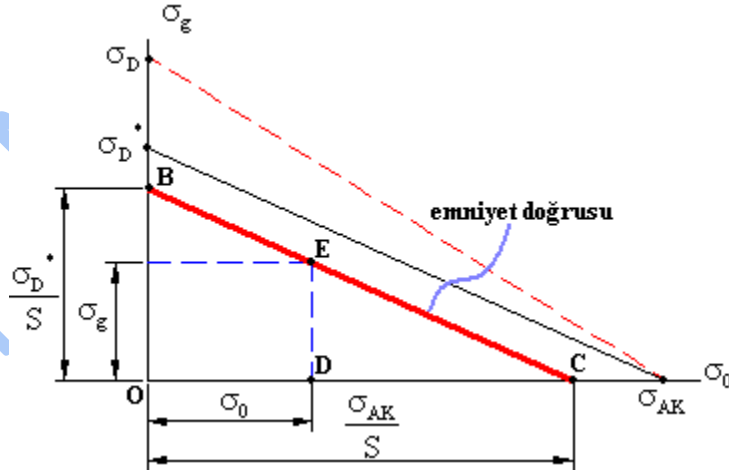


Şekil-1.9

Malzemelerin çentiğe karşı hassasiyeti, gevrek ve sünek olmalarına bağlıdır. Gevrek malzemeler çentiğe karşı daha çok, sünek malzemeler ise daha az hassasiyet gösterirler. Çentik hassasiyeti çok az olan malzemelerde $q = 0$ ve $K_{\zeta} = 1$ 'dir. Çentik etkisine karşı tam hassasiyet gösteren malzemelerde $q = 1$ ve $K_{\zeta} = K_t$ 'dir. Pratikte kullanılan malzemelerde genellikle $0 < q < 1$ ve dolayısıyla $K_t > K_{\zeta} > 1$ 'dir.

1.6. Değişken Zorlanmada Eşdeğer Gerilmeler

1.6.1 Basit Gerilme Hali



Soderberg doğrusu esas alınır ve dikey eksen σ_D^* ile $\frac{\sigma_D^*}{S}$ değerleri; yatay eksen $\frac{\sigma_{AK}}{S}$ değerleri

işaretlenirse $\sigma_D - \sigma_{AK}$ doğrusu malzemenin mukavemet sınırını; $\sigma_D^* - \sigma_{AK}$ makine elemanının mukavemet

sınırını; $\frac{\sigma_D^*}{S} - \frac{\sigma_{AK}}{S}$ makine elemanının emniyet mukavemet sınırını temsil eder. Bu durumda, emniyet doğrusu

üzerinde bulunan ve genel değişken zorlanma halini temsil eden bir E noktası alınırsa CDE ve OBC benzer üçgenlerinden;

$$\frac{DE}{OC - OD} = \frac{OB}{OC} \quad \text{veya} \quad \frac{\sigma_g}{\frac{\sigma_{AK}}{S} - \sigma_0} = \frac{\frac{\sigma_D^*}{S}}{\frac{\sigma_{AK}}{S}} = \frac{\sigma_D^*}{\sigma_{AK}}$$

eşitliği elde edilir. Burada E noktasının emniyet doğrusunun üzerinde ve altında bulunduğu durumda;

$$\sigma_0 + \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \sigma_g \leq \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

yazılır. Bu ifadede;

$$\sigma_{gd} = \sigma_0 + \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \sigma_g$$

şeklinde yazılırsa;

$$\sigma_{gd} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S} \quad (\sigma_{em} = \frac{\sigma_{AK}}{S})$$

olur. Burada σ_{gd} ; genel değişken zorlanmanın eşdeğer nominal gerilmesidir. Burulmaya zorlanan makine elemanları için benzer işlemler tekrarlanarak;

$$\tau_0 + \frac{\tau_{AK}}{\tau_D^*} \tau_g \leq \frac{\tau_{AK}}{S}$$

ifadesi bulunur ve

$$\tau_{gd} = \tau_0 + \frac{\tau_{AK}}{\tau_D^*} \tau_g$$

$$\tau_{gd} \leq \frac{\tau_{AK}}{S} \quad (\tau_{em} = \frac{\tau_{AK}}{S})$$

yazılır. Kırılğan malzemeler için elde edilen bağlantılarda σ_{AK} ve τ_{AK} yerine σ_K ve τ_K değerleri konur.

1.6.2 Bileşik Gerilme Hali

Genel halde bir makine elemanı değişken bir eğilme momenti ile birlikte aynı fazda değişen bir burulma momentine maruz kalır. Bu zorlanma halleri için Soderberg diyagramından;

$$\sigma_{gd} = \sigma_0 + \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \sigma_g$$

$$\tau_{gd} = \tau_0 + \frac{\tau_{AK}}{\tau_D^*} \tau_g$$

ifadeleri elde edilir ve maksimum şekil değiştirme hipotezi dikkate alınır, bileşik gerilme için;

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\sigma_{gd}^2 + 3\tau_{gd}^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

veya

$$\sigma_B = \sqrt{\left[\sigma_0 + \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \right) \sigma_g \right]^2 + 3 \left[\tau_0 + \left(\frac{\tau_{AK}}{\tau_D^*} \right) \tau_g \right]^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

ifadesi elde edilir. Ancak pratikte $M_e = \text{sabit}$, yani eğilme gerilmeleri tam değişken ve burulma momenti

$M_b = \text{sabit}$ halleri söz konusudur. Bu durumda $\sigma_0 = 0$, $\tau_g = 0$ ve $\tau_0 = \tau$ olur ve bileşik gerilme ifadesi;

$$\sigma_B = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \right) \sigma_g \right]^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

şeklinde yazılır. Benzer formüller maksimum kayma gerilmesi hipotezi kullanılarak bulunabilir.

1.7. Boyutlandırma ve Kontrol Bağlıları

1.7.1 Basit Gerilme Halleri

➤ Çekme zorlanması; $A \geq \frac{F}{\sigma^*/S}$, $\sigma_c = \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma^*}{S}$ veya $S = \frac{\sigma^*}{\sigma_c} > 1$

➤ Eğilme zorlanması; $W_e \geq \frac{M_e}{\sigma^*/S}$, $\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \leq \frac{\sigma^*}{S}$ veya $S = \frac{\sigma^*}{\sigma_e} > 1$

➤ Burulma zorlanması; $W_p \geq \frac{M_b}{\tau^*/S}$, $\tau = \frac{M_b}{W_p} \leq \frac{\tau^*}{S}$ veya $S = \frac{\tau^*}{\tau} > 1$

1.7.2 Tam değişken zorlanma hali ($\sigma_0 = 0$)

Bu zorlanma halinde $S = \frac{\sigma_D^*}{\sigma_g} > 1$ olmalıdır. Makine elemanının sürekli mukavemet sınırı zorlanma halleri

için;

$$\sigma_{\zeta D}^* = \frac{K_y \cdot K_b}{K_\zeta} \sigma_{\zeta D} \quad , \quad \sigma_{eD}^* = \frac{K_y \cdot K_b}{K_\zeta} \sigma_{eD} \quad , \quad \tau_D^* = \frac{K_y \cdot K_b}{K_\zeta} \tau_D$$

ifadeleri kullanılarak bulunur.

1.7.3 Genel Değişken Zorlanma

Soderberg diyagramından elde edilen σ_{gd} ve τ_{gd} eşdeğer gerilmelerinde;

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} \quad , \quad \sigma_g = \frac{F_g}{A} \quad , \quad \sigma_{e\ddot{g}} = \frac{M_{e\ddot{g}}}{W_e} \quad , \quad \sigma_{e0} = \frac{M_{e0}}{W_e} \quad , \quad \tau_g = \frac{M_{bg}}{W_p} \quad , \quad \tau_0 = \frac{M_{b0}}{W_p}$$

değerleri kullanılarak

$$\text{eşdeğer kuvvet; } F_{gd} = F_0 + \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \right) F_g$$

$$\text{eşdeğer eğilme momenti; } M_{egd} = M_{e0} + \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \right) M_{eg}$$

$$\text{eşdeğer burulma momenti; } M_{bgd} = M_{b0} + \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*} \right) M_{bg}$$

bulunur. Bu durumda boyutlandırma ve kontrol bağlantıları;

$$\text{➤ Çekme zorlanması; } A \geq \frac{F_{gd}}{\sigma_{AK}/S} \quad , \quad S = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_{gd}} > 1$$

$$\text{➤ Eğilme zorlanması; } W_e \geq \frac{M_{egd}}{\sigma_{AK}/S} \quad , \quad S = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_{gd}} > 1$$

$$\text{➤ Burulma zorlanması; } W_p \geq \frac{M_{bgd}}{\tau_{AK}/S} \quad , \quad S = \frac{\tau_{AK}}{\tau_{gd}} > 1$$

1.7.4 Bileşik Gerilme Hali

✿ Statik zorlanma

$$W_e \geq \frac{M_B}{\sigma_{AK}/S} \quad , \quad M_B = \sqrt{M_e^2 + 0.75M_b^2}$$

$$S = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_B} > 1 \quad , \quad \sigma_B = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\tau_{AK}}{S}$$

Genel değişken zorlanma

$$M_B = \sqrt{M_{egd}^2 + 0.75 M_{bgd}^2} \quad , \quad \sigma_B = \sqrt{\sigma_{egd}^2 + 3\tau_{gd}^2}$$

Pratikte çok rastlanan tam değişken eğilme gerilmesi ve statik burulma gerilmesi halinde;

$$\sigma_{gd} = \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D} \right) \sigma_g \quad , \quad \tau_{gd} = \tau$$

$$M_{egd} = \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D} \right) M_{eg} \quad , \quad M_{bgd} = M_b$$

şeklinde yazılır ve

$$M_B = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D} \right) M_{eg} \right]^2 + 0.75 M_b^2}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D} \right) \sigma_g \right]^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

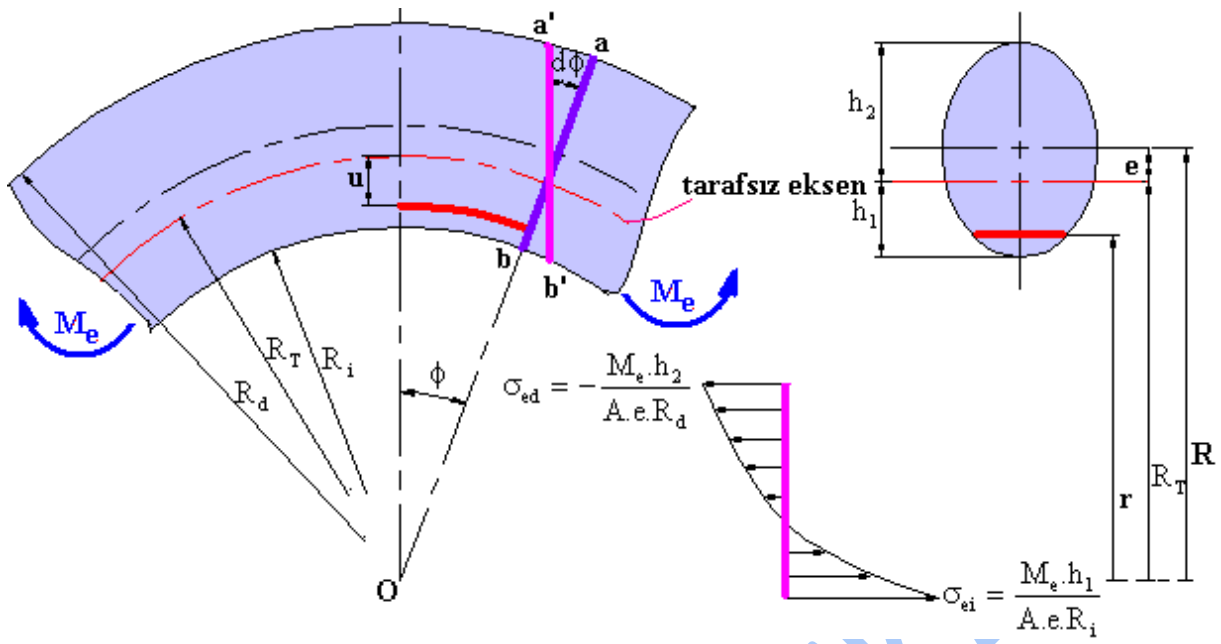
bulunur.

1.8. Eğri Eksenli Kirişlerin Basit Eğilmesi

Düz eksenli kirişlerin eğilmesi durumunda elde edilen gerilme dağılımı eğri eksenli kirişler için geçerli değildir. Düz kirişlerde tarafsız eksen kiriş kesitinin merkezinden geçerken eğri kirişlerde durum böyle değildir. Buna ilaveten eğri kirişin herhangi bir kesitinde meydana gelen eğilme gerilmelerinin dağılımı da lineer değildir.

Eksen eğrisinin başlangıç yarıçapı R olan simetrik kesitli bir eğri kiriş dikkate alınsın. Düz eksenli kirişlerde olduğu gibi eğri eksenli kirişlerde de düzlem kesitlerin, eğilme esnasında düzlem kaldıkları kabul edilir. Dikkate alınan eğri kiriş M_e eğilme momenti ile yüklendiğinde kirişe ait **a-b** kesiti Şekil-1.10'da gösterildiği gibi $d\phi$ açısı kadar döner. Dönmenin meydana geldiği tarafsız eksenin yarıçapı R_T olup kiriş simetri eksen eğrisinin R

yarıçapından farklıdır ve $R_T = \frac{A}{\int_A \frac{dA}{r}}$ ifadesinden hesaplanacağı gösterilebilir.



Şekil-1.10

Eğri eksenli kirişlerin eğilmeye zorlanması halinde kirişin herhangi bir kesitinde meydana gelen eğilme gerilmeleri;

$$\sigma_e = \frac{M_e \cdot u}{A \cdot e \cdot (R_T - u)}$$

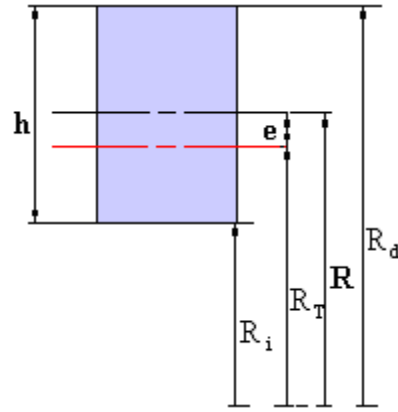
ifadesinden hesaplanır. Bu ifadeye göre kesitteki gerilme u uzaklığına bağlı olarak lineer değil Şekil-1.10'da gösterildiği gibi hiperbolik değişir.

Eğri kirişin iç ve dış yüzeylerindeki gerilmeler;

$$\sigma_{ei} = \frac{M_e \cdot h_1}{A \cdot e \cdot R_i} \quad \text{ve} \quad \sigma_{ed} = -\frac{M_e \cdot h_2}{A \cdot e \cdot R_d}$$

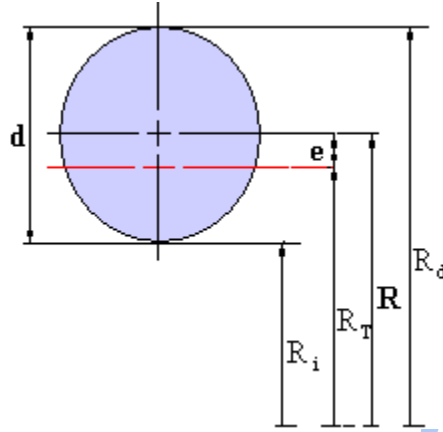
ifadelerinden hesaplanır. Burada e tarafsız eksenin kesit simetri eksenine uzaklığı olup değerini bulmak için R ve R_T 'nin bilinmesi gerekir.

✿Pratikte çok kullanılan bazı kesitler için R ve R_T ifadeleri;



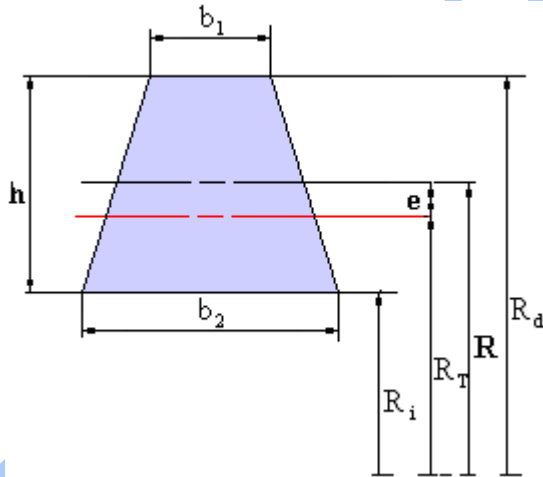
$$R = R_i + \frac{h}{2}$$

$$R_T = \frac{h}{\ln\left(\frac{R_d}{R_i}\right)}$$



$$R = R_i + \frac{d}{2}$$

$$R_T = \frac{d^2}{4\left(R - \sqrt{4R^2 - d^2}\right)}$$

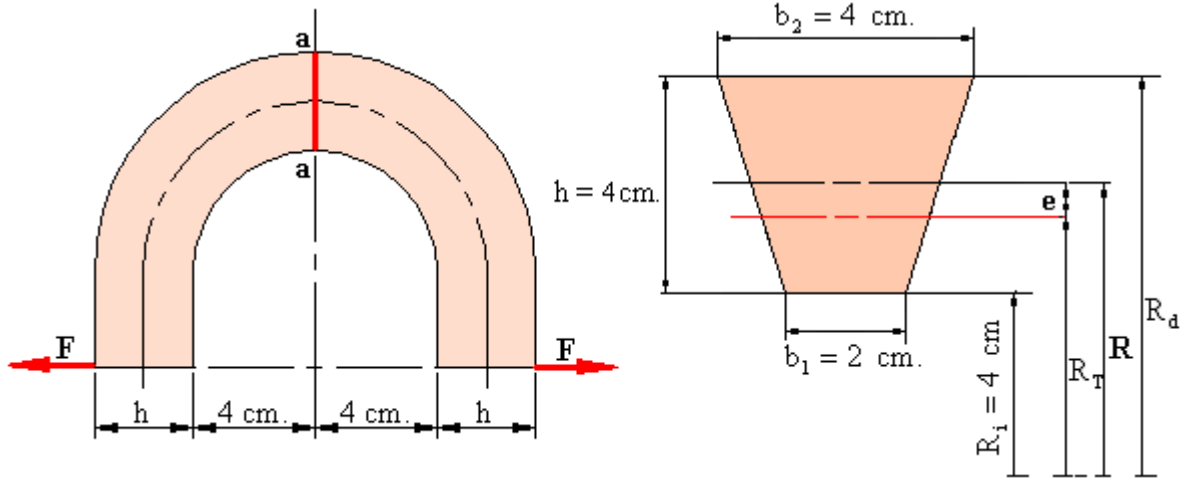


$$R = R_i + \frac{h}{3} \frac{b_2 + 2b_1}{b_2 + b_1}$$

$$R_T = \frac{A}{(b_1 - b_2) + \left[\frac{b_2 \cdot R_d - b_1 \cdot R_i}{h}\right] \ln\left(\frac{R_d}{R_i}\right)}$$

PROBLEM;

Trapez kesitli yarım halka şeklindeki bir eğri eksenli kiriş şekilde görüldüğü gibi yüklenmiştir. Kirişe etkiyen 6kN. değerindeki kuvvetten dolayı a-a kesitinde meydana gelen en büyük çekme gerilmesini bulunuz.



çözüm;

$$\text{Alan; } A = \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot h = \frac{2 + 4}{2} \cdot 4 = 12 \text{ cm}^2.$$

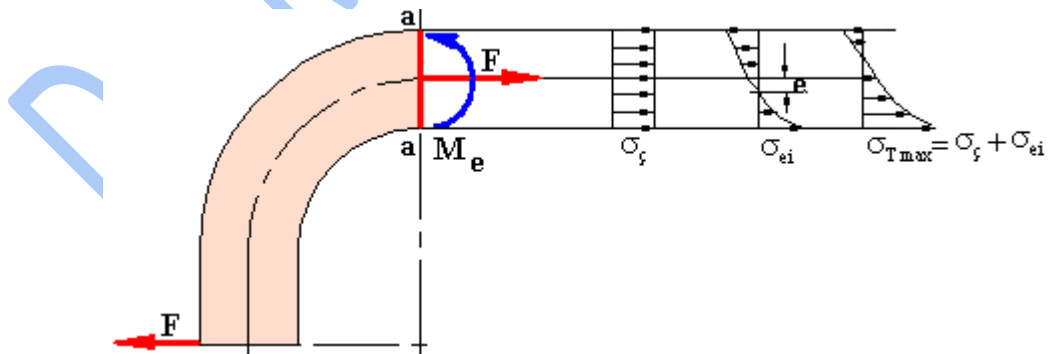
$$R = R_i + \frac{h}{3} \frac{b_2 + 2b_1}{b_2 + b_1} = 4 + \frac{4}{3} \frac{2 + 2 \cdot 4}{2 + 4} \cong 6.22 \text{ cm.}$$

$$R_d = R_i + h = 4 + 4 = 8 \text{ cm.}$$

$$R_T = \frac{A}{(b_2 - b_1) + \left[\frac{b_1 \cdot R_d - b_2 \cdot R_i}{h} \right] \ln \left(\frac{R_d}{R_i} \right)} = \frac{12}{4 - 2 + \left[\frac{2 \cdot 8 - 4 \cdot 4}{4} \right] \ln \left(\frac{8}{4} \right)} = 6 \text{ cm.}$$

$$e = R - R_T = 6.22 - 6 = 0.22 \text{ cm.}$$

$$M_e = F \cdot R = 6 \cdot 6.22 \cong 37.32 \text{ kNcm.}$$



$$\text{Çekme Gerilmes; } \sigma_f = \frac{F}{A} = \frac{6}{12} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Eğilme Gerilmes; } \sigma_{ei} = \frac{M_e \cdot h_1}{A \cdot e \cdot R_i} = \frac{37.32 \cdot 2}{12 \cdot 0.22 \cdot 4} \cong 7.068 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Toplam Max. Gerilme; $\sigma_{T \max} = 0.5 + 7.068 = 7.568 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

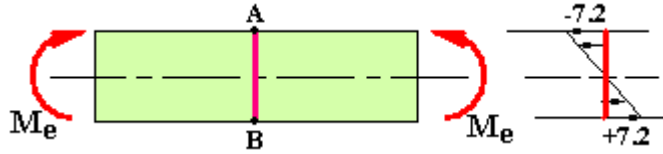
PROBLEM;

50x50 mm² kesitindeki eğri eksenli bir çubuk 150 kNcm. değerindeki bir eğilme momenti ile eğilmeye zorlandığına göre;

- a-) Doğru eksenli halde
- b-) Eğrilik yarıçapı 25 cm. olması halinde
- c-) Eğrilik yarıçapı 7.5 cm. olması halinde gerilmeleri bulunuz.

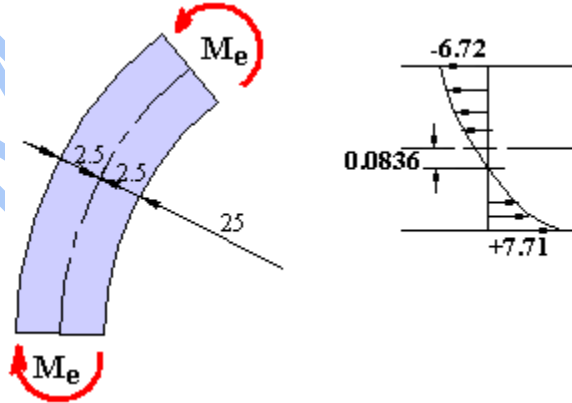
ÇÖZÜM;

- a-) Doğru eksenli çubuk;



$$\sigma_{\max} = \frac{M_e}{W_e} = \frac{6 M_e}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 150}{5 \cdot 5^2} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

- b-) Eğri eksenli çubuk, R= 25 cm.



$$\text{tarafsız eksen yarıçapı; } R_T = \frac{h}{\ln\left(\frac{R_d}{R_i}\right)} = \frac{5}{\ln\left(\frac{27.5}{22.5}\right)} = 24.9164$$

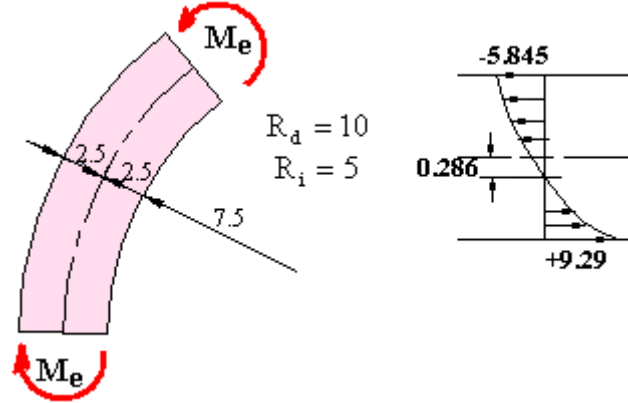
$$e = R - R_T = 25 - 24.9164 = 0.0836 \text{ cm.}$$

Gerilmeler;

$$\sigma_{ei} = \frac{M_e \cdot h_1}{A \cdot e \cdot R_i} = \frac{150(24.9164 - 22.5)}{5 \cdot 5(0.0836)(22.5)} \cong 7.71 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ed} = -\frac{M_e \cdot h_2}{A \cdot e \cdot R_d} = -\frac{150(0.0836 + 2.5)}{5 \cdot 5(0.0836)(27.5)} = -6.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

c-) Eğri eksenli çubuk; $R = 7.5 \text{ cm}$.



tarafsız eksen yarıçapı; $R_T = \frac{h}{\ln\left(\frac{R_d}{R_i}\right)} = \frac{5}{\ln\left(\frac{10}{5}\right)} = 7.214 \text{ cm}.$

$$e = R - R_T = 7.5 - 7.214 = 0.286 \text{ cm}.$$

Gerilmeler;

$$\sigma_{ei} = \frac{M_e \cdot h_1}{A \cdot e \cdot R_i} = \frac{150(7.214 - 5)}{5 \cdot 5(0.286)(5)} \cong 9.29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

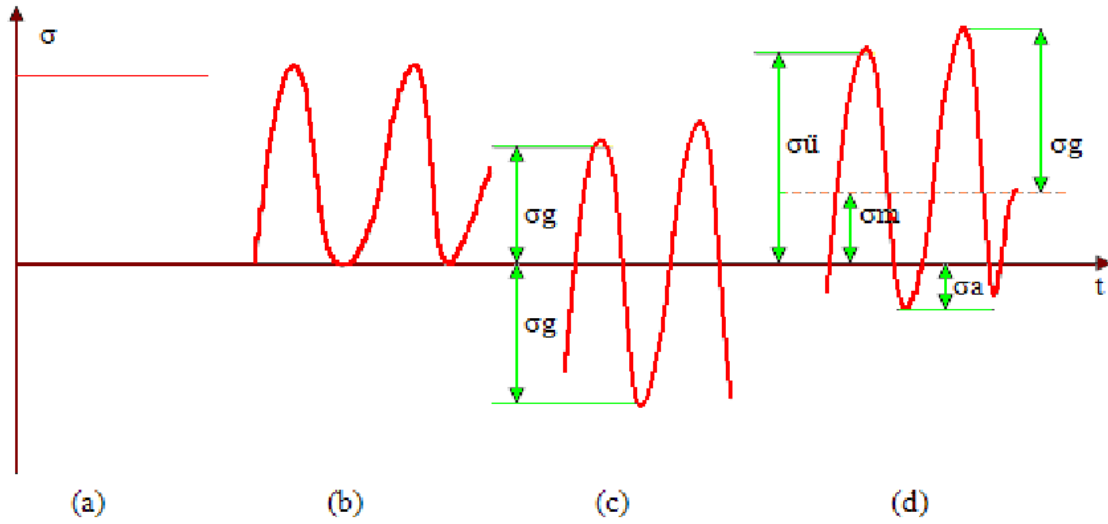
$$\sigma_{ed} = -\frac{M_e \cdot h_2}{A \cdot e \cdot R_d} = -\frac{150(0.286 + 2.5)}{5 \cdot 5(0.286)(10)} = -5.845 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

MAKİNE ELEMANLARININ SÜREKLİ MUKAVEMETE GÖRE BOYUTLANDIRILMASI

SÜREKLİ MUKAVEMET

YÜK TANIMLARI

- Bir elemana etkiyen kuvvetin değeri kısa zaman aralığında değişiyorsa dinamik yük söz konusudur ve parça bir süre sonra yorulma sonucu kırılır. Bu sebepten dinamik zorlamalarda eleman yalnız şekil değiştirme ve kırılmaya göre değil yorulmaya göre de hesap edilmelidir. Makine elemanları genellikle dinamik zorlanmalar etkisindedir. Bu yüzden elemanlardaki gerilmelerin büyüklüğü zamana bağlı olarak değişir. Şekilde tek eksenli bir gerilme durumunda zamana göre değişme çeşitlerini göstermektedir.



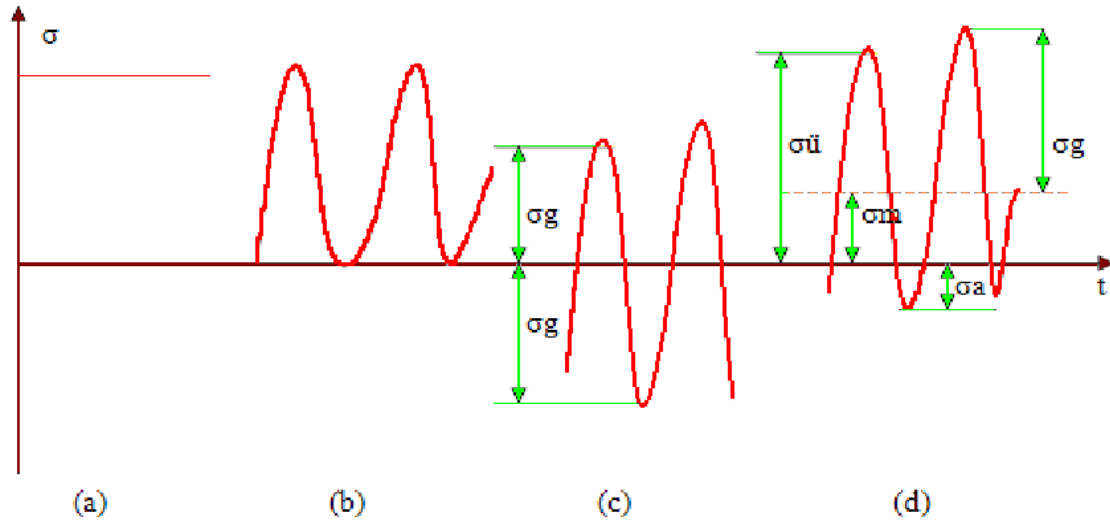
Şekil 2.12 Dinamik zorlanma çeşitleri a) Statik, b) Titreşimli, c) Tam değişken, d) Bileşik (Genel gerilme durumu)

YÜK TANIMLARI

Şekildeki σ_u , σ_a , σ_m gerilmeleri sırasıyla makine elemanına etkiyen üst, alt ve ortalama nominal gerilmeleri göstermektedir. Gerilme genliği σ_g , üst gerilme ile alt gerilme arasındaki farkın yarısına eşittir.

$$\sigma_g = \frac{\sigma_u - \sigma_a}{2}$$

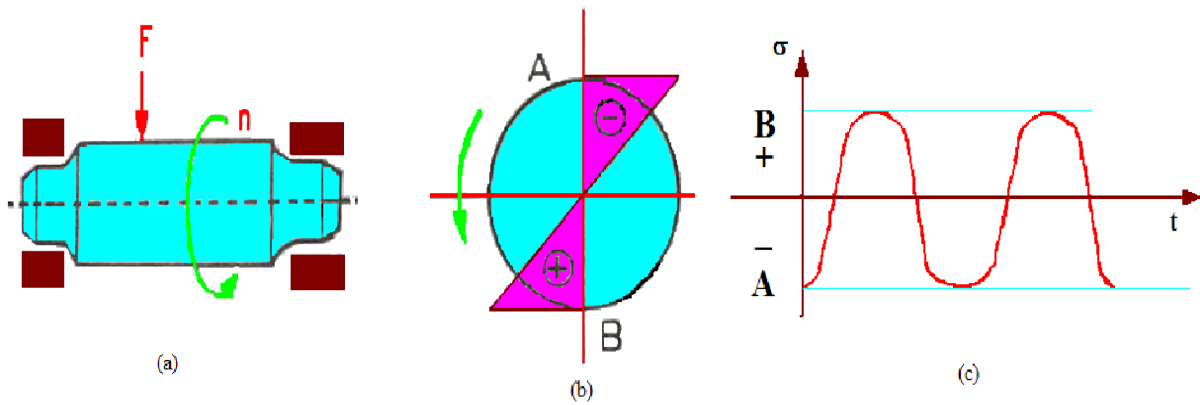
$$\sigma_u = \sigma_m + \sigma_g, \quad \sigma_a = \sigma_m - \sigma_g, \quad \sigma_m = (\sigma_u + \sigma_a)/2$$



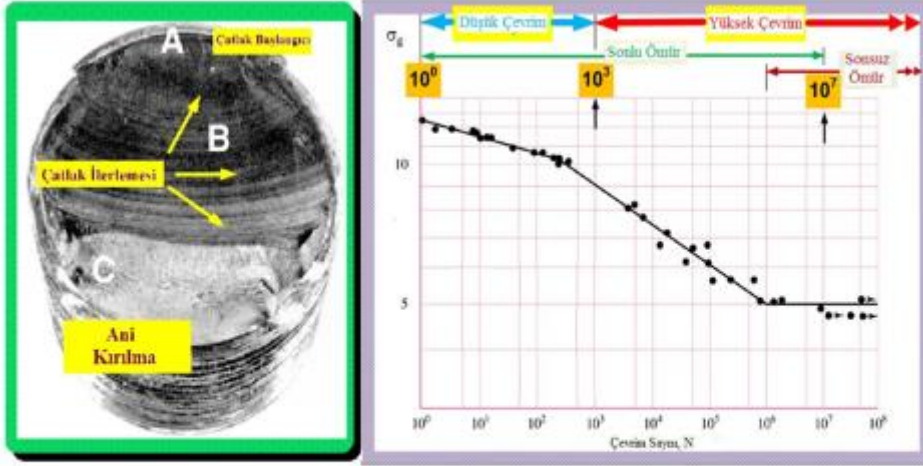
Şekil 2.12 Dinamik zorlanma çeşitleri a) Statik, b) Titreşimli, c) Tam değişken, d) Bileşik (Genel gerilme durumu)

Dinamik Zorlanmada Makine Elemanlarının Ömrü

Genellikle makine elemanları değişken yüklere ve gerilmelere maruzdur. Yük statik de olsa, çalışma sırasında eleman kesitinde oluşan gerilmeler değişken olabilir. Örneğin Şekil 2.13'de görüldüğü gibi statik bir yük altında dönen milin herhangi bir anda üst tarafı basmaya alt tarafı ise çekmeye maruz kalır. Milin 180° dönmesi durumunda ise bir süre önce çekmeye maruz kalan kısım bu durumda basmaya ve önce basmaya maruz kalan kısım da çekmeye maruz kalacaktır. Böylece malzeme pozitif ve negatif eşit değerler arasında periyodik bir değişim gösteren gerilmelere yani, tam değişken zorlanmaya maruz kalır.



Şekil 2.13 Bir milin zorlanması.



Şekil 2.14 a) Yorulma kopması, b) Wöhler diyagramı.

Değişken zorlamada malzemenin yorulma mukavemetini tayin etmek için sabit bir **ortalama gerilme** (σ_0) üzerine başka deneme çubukları ile ve her defasında başka bir **gerilme genliği** (σ_g) bindirilerek eleman kopuncaya kadar geçen **N yük tekrar sayısı** tespit edilir. Böylece, **Wöhler veya σ -N** diyagramı olarak bilinen diyagram elde edilir (Şekil 2.14.b). Wöhler eğrisinin incelemesinden şu sonuçlar ortaya çıkar:

- İki kısımdan oluşan eğrinin eğik olarak inen kısmına ait mukavemet değerlerine **zaman mukavemeti** (σ_{DN}) eğrinin yatay kısmındaki değerlere ise **sürekli mukavemet sınırı** (σ_D) adı verilir.
- Yük tekrar sayısı (N) arttıkça σ_g azalır; şöyle ki belirli bir yük tekrar sayısı (N_0) için malzemenin kopmadan devamlı olarak dayanabileceği bir minimum gerilme genliği vardır. Bu gerilme genliğine, **malzemenin sürekli mukavemet sınırı** (σ_D) denir. Bu sınıra denk gelen yük tekrar sayısına sonsuz (sürekli) ömür sınırı (N_0) denilir. Şekil 2.14.b'de görüldüğü gibi çelik malzemelerde bu sınır $N_0=10^6 - 10^7$ arasında değişir.

Bu sonuçlara göre tam d eğişken zorlanmaya maruz malzemeleri mukavemet sınırları olarak:

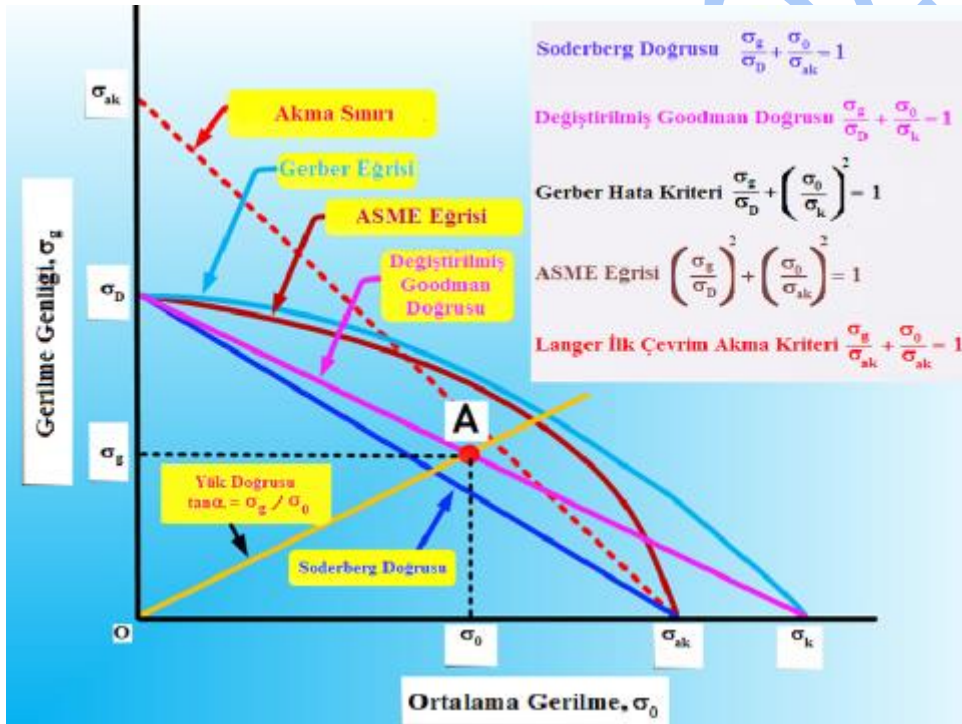
- $N \geq N_0$ yani **sonsuz ömür** için, σ_D **sürekli mukavemet sınırı**;
- $N < N_0$ yani **sonlu ömür** için, σ_{DN} **zamana bağlı mukavemet** alınır.

SÜREKLİ MUKAVEMET DİYAGRAMLARI

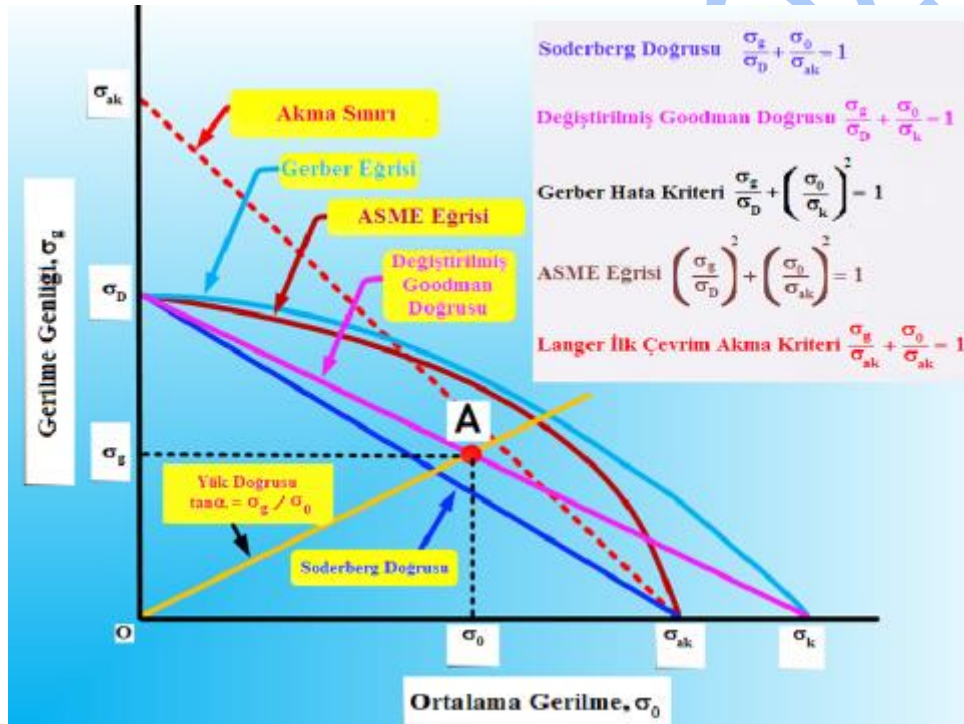
- Sürekli mukavemet diyagramları, belirli bir malzeme ve zorlanma çeşidi için muhtelif zorlanma bölgelerinde yapılan seri sürekli mukavemet deneyi sonucunda elde edilen **Wöhler eğrilerinin sonuçlarından yararlanılarak çizilir.**
- Genel değişken zorlanmada her σ_0 ve σ_g değerine karşılık, bir mukavemet sınırı tayin edilmesi gerekir. Ancak bu durum çok geniş bir zorlanma alanını kapsadığı için her durum için bir mukavemet sınırı tespit etmek zordur. Bu nedenle **genel değişken zorlanmalar için mukavemet sınırı; Goodman-Soderberg ve Smith diyagramı olmak üzere esas iki yöneme göre tayin edilir.**

GOODMAN-SODERBERG YÖNTEMİ

Statik, tam değişken ve genel değişken mukavemet sınırlarını **yatay eksen** σ_0 ve **düşey eksen** σ_g olan bir eksen takımı üzerinde temsil edersek, Şekil 2.15 'de görüldüğü gibi Haig diyagramını elde ederiz. Bu diyagramda yatay eksen (σ_0) esas statik zorlanma halini ($\sigma_g=0$) ve düşey eksen (σ_g), tam değişken zorlanma halini ($\sigma_0=0$) gösterir. Ayrıca σ_0 ve σ_g eksenleri tarafından belirtilen $O-\sigma_g-\sigma_k$ alanı ise genel değişken zorlanma hallerini göstermektedir.



Bu durumda σ_0 eksenini üzerinde malzemenin statik mukavemet sınırı (σ_{ak} ve σ_k); σ_g eksenini üzerinde malzemenin sürekli mukavemet sınırı σ_D ve alan içerisinde genel değişken mukavemet sınırları temsil edilir. Şekil 2.15'de görüldüğü gibi genel değişken mukavemet sınırları **Gerber** adı verilen bir eğriyi meydana getirmektedir ve **bu eğri genel değişken zorlanmada malzemenin mukavemet sınırını temsil eder**. Böylece tüm zorlanma halleri için malzemenin mukavemet sınırları belirlenebilir. Eğer malzemeye etki eden nominal gerilmeler bu sınırların içerisinde kalıyorsa malzeme kopmaz ancak bu sınırların üstünde ya da dışında kalırsa malzeme kopar.



Haig diyagramının başka bir özelliği, belirli bir zorlanma halinin O noktasından geçen bir doğru ile ifade edilmesidir. Örneğin OA doğrusu üzerinde tüm noktalar $\sigma_{\min}=0$ ve $\sigma_0=\sigma_g$ değerine sahip genel değişken (titreşimli) zorlanmayı temsil etmektedir. A noktasından σ_0 'ye yaklaştıkça gerilme genliği (σ_g) artmakta ve ortalama gerilme (σ_0) azalmaktadır. Aynı şekilde A noktası σ_k 'ya yaklaştıkça gerilme genliği (σ_g) azalmakta ve ortalama gerilme (σ_0) artmaktadır. Herhangi bir zorlanma halinin σ_0 ve σ_g değerleri bilindiği durumda bunun Haig diyagramındaki konumu $\tan\alpha = \sigma_g / \sigma_0$ bağıntısı ile bulunur.

SMITH YÖNTEMİ

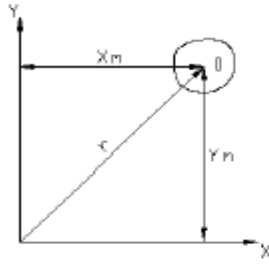
Smith diyagramı zorlanma hallerinin genel temsil tarzıdır. Bu diyagramda zorlanmaları karakterize eden maksimum gerilme ($\sigma_{\max}$), minimum gerilme ($\sigma_{\min}$), ortalama gerilme (σ_0) ve gerilme genliği (σ_g) değerleri gösterilmektedir. Burada yatay eksen ortalama gerilmeleri (σ_0) ve düşey eksen ise maksimum gerilme ($\sigma_{\max}$), minimum gerilme ($\sigma_{\min}$) değerlerini temsil eder. Her iki eksen üzerinde kopma gerilmesi (σ_k) değerlerinden yatay ve düşey çizgiler çizilerek elde edilen kesişim noktası (C noktası) statik mukavemet sınırını temsil eder.



- Sürekli mukavemet diyagramları, belirli bir malzeme ve zorlanma çeşidi için muhtelif zorlanma bölgelerinde yapılan seri sürekli mukavemet deneyi sonucunda elde edilen Wöhler eğrilerinin sonuçlarından yararlanılarak çizilir.
- Genel değişken zorlanmada her σ_0 ve σ_g değerine karşılık, bir mukavemet sınırı tayin edilmesi gerekir. Ancak bu durum çok geniş bir zorlanma alanını kapsadığı için her durum için bir mukavemet sınırı tespit etmek zordur. Bu nedenle genel değişken zorlanmalar için mukavemet sınırı; Goodman-Soderberg ve Smith diyagramı olmak üzere esas iki yönetime göre tayin edilir.

BÖLÜM 3

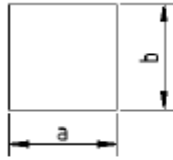
---Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti---



$$x_m = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{x_1 \cdot A_1 \pm x_2 \cdot A_2 \pm \dots \pm x_n \cdot A_n}{A_1 \pm A_2 \pm \dots \pm A_n}$$

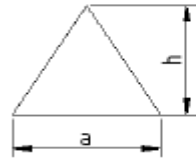
$$y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{y_1 \cdot A_1 \pm y_2 \cdot A_2 \pm \dots \pm y_n \cdot A_n}{A_1 \pm A_2 \pm \dots \pm A_n}$$

ATALET MOMENTİ



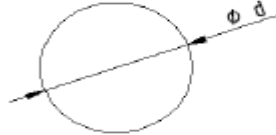
$$I_x = \frac{a b^3}{12}$$

$$I_y = \frac{b a^3}{12}$$



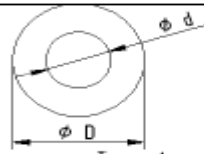
$$I_x = \frac{a h^3}{36}$$

$$I_y = \frac{h a^3}{36}$$



$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$



$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$$

**** BİR NOKTAYA GÖRE ATALET :**

$$I_{x'} = I_x + A \cdot d^2$$

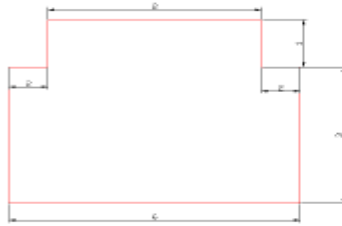
$$I_{y'} = I_y + A \cdot d^2$$

**** MUKAVEMET MOMENTİ :**

$$W_x = \frac{I_{x'}}{c_{max}}$$

$$W_y = \frac{I_{y'}}{c_{max}}$$

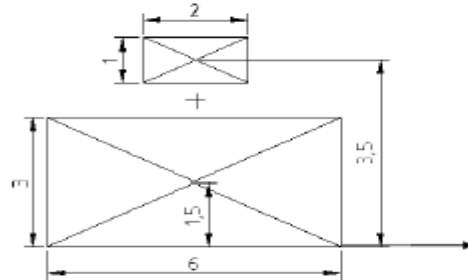
ÖRNEK:



A-) $Y_m, \Sigma I_{x'}, W_x$?

B-) $X_m, \Sigma I_{y'}, W_y$?

A-)



(X Eksenine yasladık)

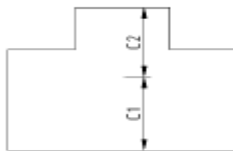
$$Y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{1.5 \cdot (6.3) + 3.5 \cdot (2.1)}{(6.3) + (2.1)} = 1.7 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{6.3^3}{12} \quad I_y = \frac{2.1^3}{12}$$

$$I_{x1}' = I_{x1} + A_1 \cdot d^2 = \frac{6.3^3}{12} + (6.3) \cdot (Y_m - Y_1)^2 = \frac{6.3^3}{12} + (6.3) \cdot (1.7 - 1.5)^2 = 14.22 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2}' = I_{x2} + A_2 \cdot d^2 = \frac{2.1^3}{12} + (2.1) \cdot (Y_m - Y_2)^2 = \frac{2.1^3}{12} + (2.1) \cdot (1.7 - 3.5)^2 = 6.65 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_{x'} = 14.22 + 6.65 = 20.87 \text{ mm}^4$$

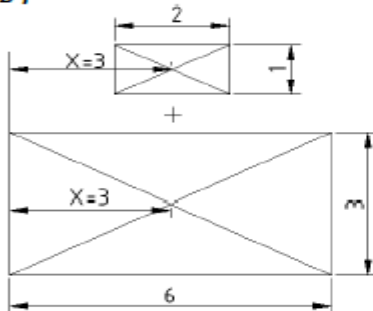


$$C_2 = 4 - 1.7 = 2.3 = C_{\max}$$

$$C_1 = 1.7$$

$$W_x = \frac{\Sigma I_{x'}}{C_{\max}} = \frac{20.87}{2.3} = 9.07 \text{ mm}^3$$

B-)



(Y eksenine Yasladık)

$$X_m = C_1 = 3$$

$$C_2 = 3 = C_{\max}$$

$$X_m = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{3 \cdot (3.6) + 3 \cdot (2.1)}{(6.3) + (2.1)} = 3 \text{ mm}$$

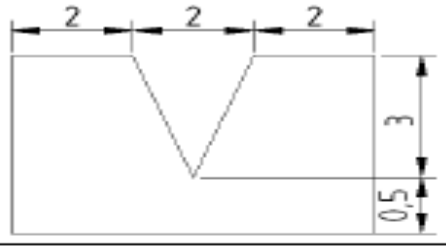
$$I_{y1}' = I_{y1} + A_1 \cdot d^2 = \frac{3.6^3}{12} + (6.3) \cdot (X_m - X_1)^2 = \frac{3.6^3}{12} + (6.3) \cdot (3 - 3)^2 = 54 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2}' = I_{y2} + A_2 \cdot d^2 = \frac{1.2^3}{12} + (1.2) \cdot (X_m - X_2)^2 = \frac{1.2^3}{12} + (1.2) \cdot (3 - 3)^2 = 0.67 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_{y'} = 54 + 0.67 = 54.67 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{\Sigma I_{y'}}{C_{\max}} = \frac{54.67}{3} = 18.22 \text{ mm}^3$$

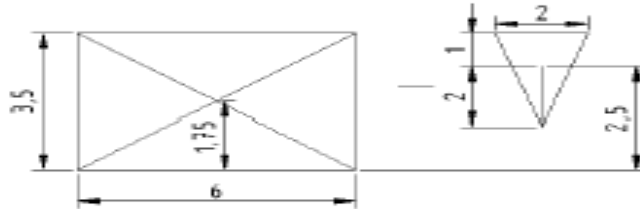
ÖRNEK:



A-) Y_m , $\Sigma I_{x'}$, W_x ?

B-) X_m , $\Sigma I_{y'}$, W_y ?

A-)



(X Eksenine yasladık)

$$Y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{1.75(6 \cdot 3.5) - 2.5(3 \cdot \frac{2}{2})}{(6 \cdot 3.5) - (3 \cdot \frac{2}{2})} = 1.625 \text{ mm}$$

$$I_{x_1'} = I_{x_1} + A_1 \cdot d_1^2 = \frac{6 \cdot 3.5^3}{12} + (6 \cdot 3.5) \cdot (Y_m - Y_1)^2 = \frac{6 \cdot 3.5^3}{12} + (6 \cdot 3.5) \cdot (1.625 - 1.75)^2 = 21.76 \text{ mm}^4$$

$$I_{x_2'} = I_{x_2} + A_2 \cdot d_2^2 = \frac{2 \cdot 3^3}{36} + (3 \cdot 2/2) \cdot (Y_m - Y_2)^2 = \frac{2 \cdot 3^3}{36} + (3 \cdot 2/2) \cdot (1.625 - 2.5)^2 = 3.79 \text{ mm}^4$$

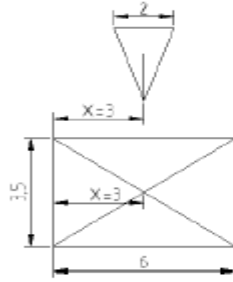
$$\Sigma I_{x'} = 21.76 - 3.79 = 17.97 \text{ mm}^4$$

$$Y_m = C_1 = 1.625$$

$$C_2 = 3.5 - 1.625 = 1.875 = C_{\max}$$

$$W_x = \frac{\Sigma I_{x'}}{C_{\max}} = \frac{17.97}{1.875} = 9.58 \text{ mm}^3$$

B-)



(Y eksenine Yasladık)

$$X_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{3(6 \cdot 3.5) - 3(3.2/2)}{(6 \cdot 3.5) - (3.2/2)} = 3 \text{ mm}$$

$$I_{y1}' = I_{y1} + A_1 \cdot d_1^2 = \frac{3.5 \cdot 6^3}{12} + (6 \cdot 3.5) \cdot (X_m - X_1)^2 = \frac{3.5 \cdot 6^3}{12} + (6 \cdot 3.5) \cdot (3 - 3)^2 = 63 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2}' = I_{y2} + A_2 \cdot d_2^2 = \frac{3 \cdot 2^3}{12} + (3 \cdot 2/2) \cdot (X_m - X_2)^2 = \frac{3 \cdot 2^3}{12} + (3 \cdot 2/2) \cdot (3 - 3)^2 = 0.67 \text{ mm}^4$$

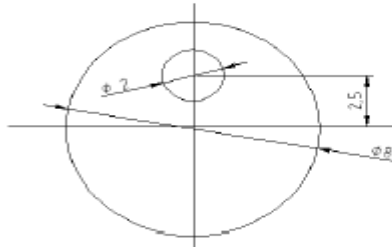
$$\sum I_{y'} = 63 - 0.67 = 62.33 \text{ mm}^4$$

$$X_1 = C_1 = 3$$

$$X_2 = C_2 = 3 = C_{\max}$$

$$W_y = \frac{\sum I_{y'}}{C_{\max}} = \frac{62.33}{3} = 20.78 \text{ mm}^3$$

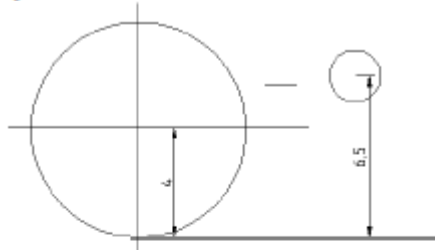
ÖRNEK:



A-) $Y_m, \sum I_{x'}, W_x$?

B-) $X_m, \sum I_{y'}, W_y$?

A-)



(X Eksenine yasladık)

$$Y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 4^2 \cdot 0 - 6.5 \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right)}{\left(\frac{\pi}{4} \cdot 4^2 \right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right)} = 3.83 \text{ mm}$$

$$I_{x1}' = I_{x1} + A_1 \cdot d_1^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 4^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 4^2 \right) \cdot (Y_m - Y_1)^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 4^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 4^2 \right) \cdot (3.83 - 4)^2 = 202.51 \text{ mm}^4$$

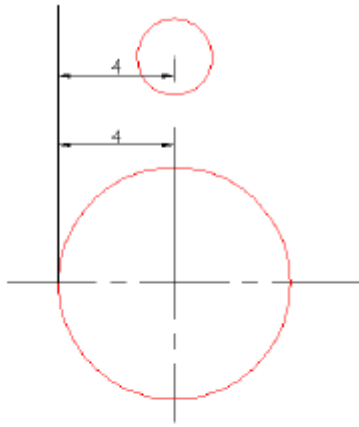
$$I_{x2}' = I_{x2} + A_2 \cdot d_2^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 2^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right) \cdot (Y_m - Y_2)^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 2^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right) \cdot (3.83 - 6.5)^2 = 23.18 \text{ mm}^4$$

$$\sum I_{x'} = 202.51 - 23.18 = 179.33 \text{ mm}^4$$

$$Y_m = C_1 = 3.83$$

$$C_2 = 8 - 3.83 = 4.17 = C_{\max}$$

$$W_x = \frac{\sum I_{x'}}{C_{\max}} = \frac{179.33}{4.17} = 42.65 \text{ mm}^3$$



(Y eksenine Yasladık)

$$X_m = \frac{\sum X_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{\pi \left(\frac{\pi}{4} \cdot 8^3 \right) - \pi \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^3 \right)}{\left(\frac{\pi}{4} \cdot 8^2 \right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right)} = 4 \text{ mm}$$

$$I_{y1'} = I_{y1} + A_1 \cdot d^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 8^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 8^2 \right) \cdot (x_m - x_l)^2$$

$$= \frac{\pi}{64} \cdot 8^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 8^2 \right) \cdot (4 - 4)^2 = 201,06 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2'} = I_{y2} + A_2 \cdot d^2 = \frac{\pi}{64} \cdot 2^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right) \cdot (x_m - x_l)^2$$

$$= \frac{\pi}{64} \cdot 2^4 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \right) \cdot (4 - 4)^2 = 0,78 \text{ mm}^4$$

$$\sum I_{x'} = 201,06 - 0,78 = 200,27 \text{ mm}^4$$

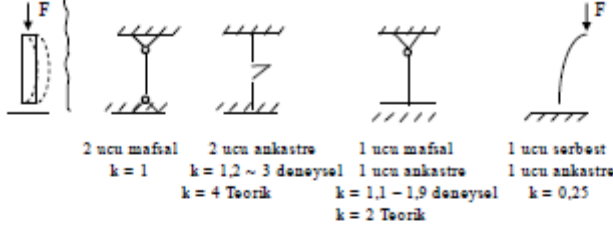
$$X_m = C_1 = 4$$

$$C_2 = 8 - 4 = 4 = C_{\max}$$

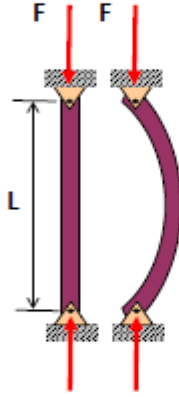
$$W_x = \frac{\sum I_{x'}}{C_{\max}} = \frac{200,27}{4} = 50,07 \text{ mm}^3$$

BÖLÜM 4

FLAMBAJ - (BURKULMA)



FLAMBAJ



$$\frac{L}{r_j} > ? \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_{ak}}}$$

ise uzun çubuk (Euler)
değilse kısa çubuk (Johnson)

Uzun Çubuklar
(Euler formülü)

$$\frac{F_{kz}}{F \cdot S} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Kısa Çubuklar
(Johnson formülü)

$$\frac{F_{kz}}{F \cdot S} = \sigma_{ak} \cdot A \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{ak} \left(\frac{L}{r_j} \right)^2}{4 \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E} \right)$$

Elastiklik Modülü: Eçelik=210000 N/mm²

Atalet momenti

$$I_{dair} = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$

jirasyon yarıçapı :

$$r_j = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Bağlantı özelliği:

$k=1$ iki ucu mafsaf
 $k=0,25$ bir ucu ankastre bir ucu serbest
 $k \approx 1,1 - 1,9$ bir ucu ankastre bir ucu mafsaf
 $k \approx 1,1 - 3$ iki ucu ankastre

$$1-) \sigma = -\frac{F}{A} \leq \sigma_{em}$$

$$2-) F_{kritik} = F \cdot s = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L^2} \Rightarrow \text{EULER (UZUN ÇUBUK)}$$

$$F_{kritik} = F \cdot s = A \cdot \sigma_{ak} \left(1 - \frac{\sigma_{ak} \left(\frac{L}{r_J} \right)^2}{4k \pi^2 \cdot E} \right) \Rightarrow \text{JOHNSON (KISA ÇUBUK)}$$

$$r_J = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

$$\frac{L}{r_J} \leq \sqrt{\frac{2k \pi^2 \cdot E}{\sigma_{ak}}}$$

$\geq$ EULER

$<$ JOHNSON

Örnek : 2b x 3b kesitli çelik çubuğun boyu 1,5 m'dir. Bu çubuğu 500N'luk yüke 2 emniyetli dayanabilmesi için b ölçüsü ne olmalıdır ? k = 0.25

Cözüm :

$$L = 1,5 \text{ m} = 1500 \text{ mm}$$

$$E = 210000$$

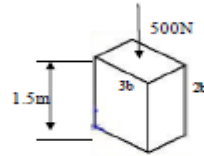
$$\sigma_{em} = 400$$

$$F = 500 \text{ N}$$

$$S = 2$$

$$b = ?$$

$$k = 0.25$$



①

$$\sigma = -\frac{500}{2b \cdot 3b} \leq 400$$

$$A = 2b \cdot 3b = 6b^2$$

$$b = 0,46$$



$$I_x = \frac{2b (3b)^3}{12} = \frac{54}{12} b^4$$

$$I_y = \frac{3b (2b)^3}{12} = \frac{24}{12} b^4 \quad \underline{I_{min}}$$

$$F_{kritik} = 500 \cdot 2 = \frac{0.25 \pi^2 \cdot 210000}{1500^2} \cdot \frac{24}{12} b^4$$

$$b = 6,83$$

* büyük olanı tercih ediyoruz

Örnek :

$$6 \times 6$$

$$\sigma = -\frac{F}{6 \cdot 6} \leq 400$$

$$F = 14.400 \text{ N}$$

$$E = 210000$$

$$\sigma_{em} = 400$$

$$k = 1,5$$

$$S = 2$$

$$L = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

$$r_J = \sqrt{\frac{108}{3}} = 1,73$$

$$\frac{100}{1,7} < \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot \pi^2 \cdot 210000}{100}}$$

$$\sigma_{ak} = 100$$

$$57,8 < 249,36 \Rightarrow \text{JOHNSON}$$

$$F = ?$$

$$F_{kritik} = F \cdot 2 = 36 \cdot 100 \left(1 - \frac{100 \cdot (57,8)^2}{4 \cdot 1,5 \cdot \pi^2} \right) \Rightarrow * \quad \boxed{F = 1751,6}$$

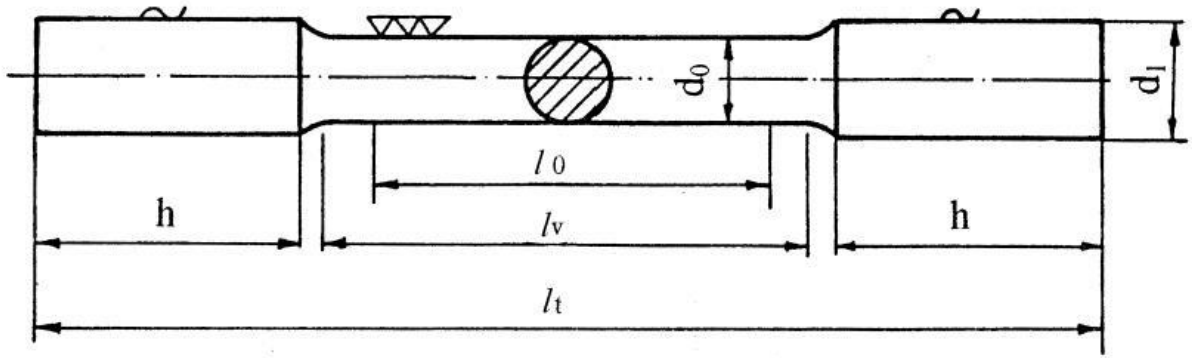
METALİK MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Çekme deneyi malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile yapılır. Çekme deneyi yaygın olarak kullanılan mekanik malzeme muayenesi yöntemlerinden biridir.

2. ÇEKME DENEYİNİN YAPILIŞI

Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir. Şekilde TS 138 A normuna göre hazırlanmış daire kesiti silindirik başlı bir çekme örneği görülmektedir.



Şekil 1. Daire kesitli silindirik başlı çekme numunesi.

Ekil 1’de d_0 numunenin çapını, d_1 baş kısmının çapını ($1,2d_0$), lv inceltilmiş kısmın uzunluğunu ($l_0 + d_0$), l_0 ölçü uzunluğunu ($5d_0$), h baş kısmının uzunluğunu ve l_t numunenin toplam uzunluğunu göstermektedir. Çapı 10 mm ve ölçü uzunluğu 50 mm olan çekme numunesi 10 x 50 TS 138A şeklinde gösterilebilir.

d_0 = Numune Çapı

d_2 = Basamak Kısmının Çapı = $1,2 \cdot d_0$

d_1 = Baş Kısmının Çapı = $1,75 \cdot d_0$

L_v = İnceltilmiş Kısmın Çapı = $L_0 + d_0$

L_0 = Ölçü Uzunluğu = $5 \cdot d_0$

L_t = Toplam Uzunluk

h = Basamak Kısmının Uzunluğu = d_0

Çekme deneyine tabi tutulacak numuneler silindirik veya düz olabilir. Çeşitli tipteki malzemelerin çekme deneyi için kullanılabilecek numune boyutları standartlaştırılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler iki kısımdan ibarettir. Bunlar,

a) *Numunenin Baş Kısımları*: Yük uygulanması için tutulan kısımlardır ve diğer bölgeye göre daha büyük boyutludur.

b) *Numunenin Orta Kısımı*: Yük uygulandığında deformasyonun oluşması beklenen daha küçük boyutlu bölgedir. Deney sonuçları bu kısımda yapılan ölçmelerle belirlenir. Numunenin bu kısmında kesit alanı ile uzunluk arasında bir ilişki vardır. Numunenin orta kısmındaki kesit alanı ilk kesit alanı (A_0) olarak alınır.

Yuvarlak kesitli numuneler için;

d_0 , numunenin orta kısmının çapı (mm).

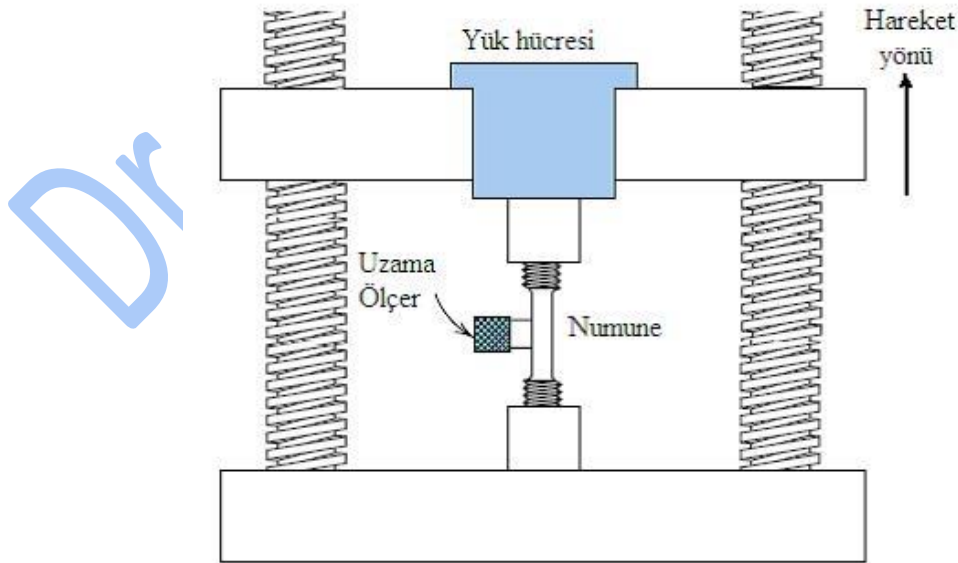
$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

Yassı numuneler için; $A_0 = a \times b$

a , numune kalınlığı (mm),

b , ölçü uzunluğu içinde numune genişliği (mm).

Hazırlanan örnek numune, çekme cihazının çeneleri arasına yerleştirilerek sıkıştırılır ve deney başlatılır. Şekil 2’de tipik bir çekme cihazının resmi görülmektedir. Deney esnasında üst çene yukarı doğru hareket ederek çekme numunesine sürekli olarak artan çekme yükü uygulanır ve kırılma anına kadar hem uygulanan kuvvet hem de numunede meydana gelen uzama kaydedilir.

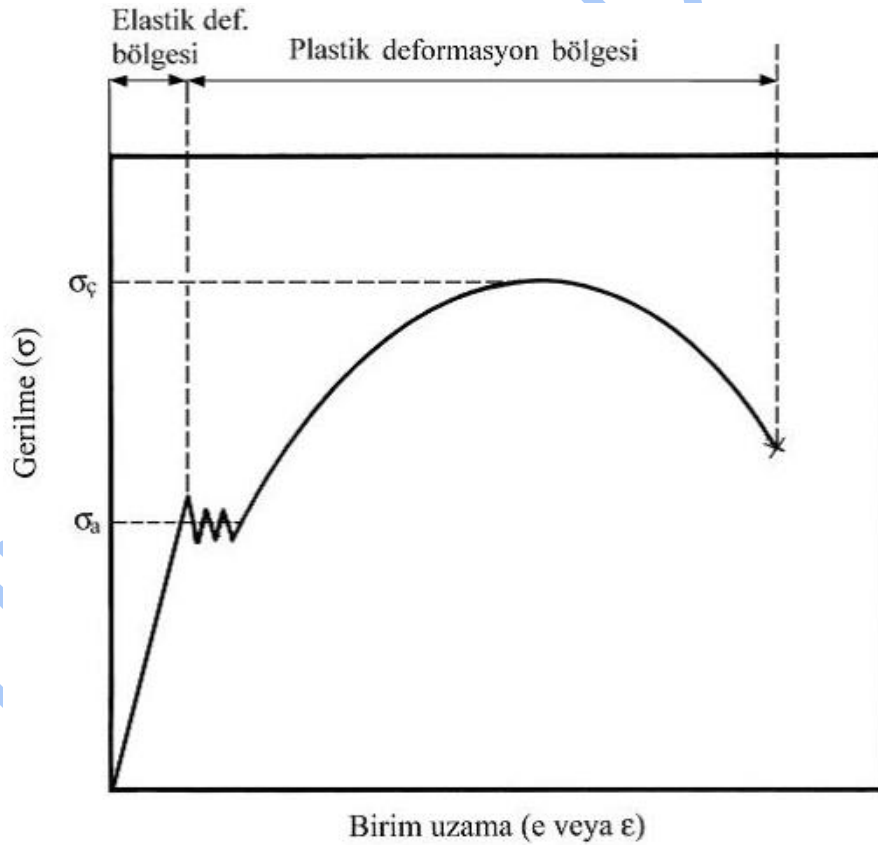


Şekil 2. Çekme Deneyinin Şematik Olarak Uygulanması.

Bu deney sonucunda kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi elde edilir. Ancak bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğri yerine daha evrensel olan gerilme-genleme eğrisi kullanılır. Gerilme-genleme eğrisine çekme diyagramı adı verilir. Şekil 3’de normalize edilmiş durumdaki süreksiz akma gösteren düşük karbonlu bir çeliğin gerilme -birim şekil değişimi eğrisi verilmiştir.

Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki mekanik özellikler bulunabilir.

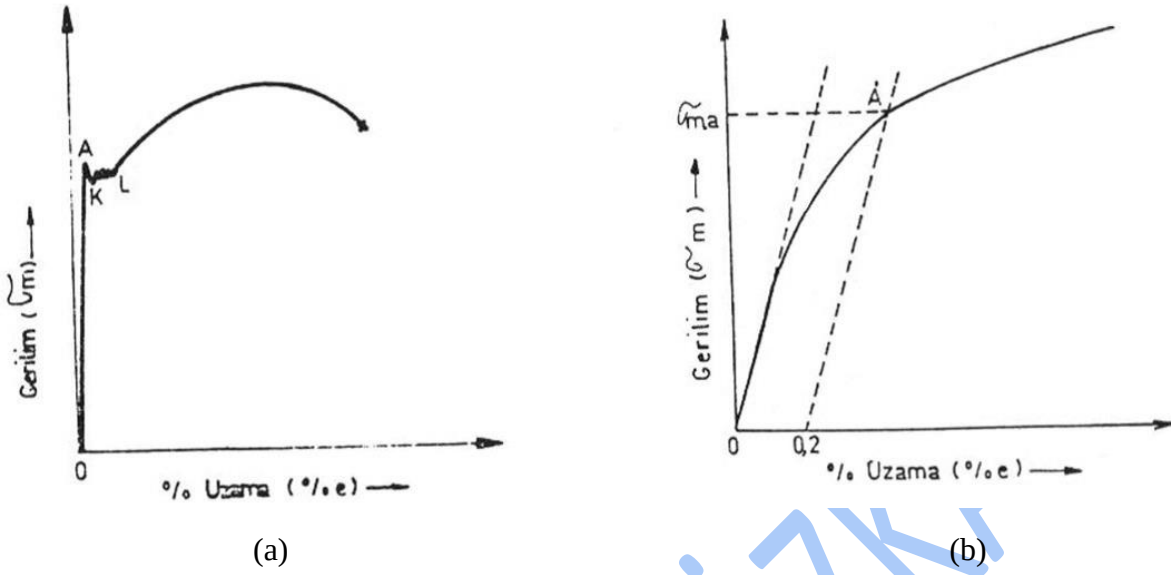
- a. Elastisite modülü
- b. Elastik sınırı
- c. Rezilyans
- d. Akma gerilmesi
- e. Çekme dayanımı
- f. Tokluk
- g. % uzama
- h. % kesit daralması



Şekil 3. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı.

Akma gerilmesi, bazı malzemelerde (özellikle az ve orta karbonlu çeliklerde), gerilme değeri sabit kalmasına rağmen numunede görülen uzamayla belli olur. Bazı malzemeler belirgin bir

akma noktasına gösterirken (Şekil 4.a), bazı malzemelerin gerilim-uzama diyagramlarında ise belirgin bir akma noktası gözlenmez (Şekil 4.b).



Sekil 4. (a) belirgin akma noktası gösteren, (b) belirgin akma noktası göstermeyen malzemelerin gerilim-uzama diyagramları.

Çekme deneyi sırasında elde edilen gerilme ve uzama değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımı ile bulunur.

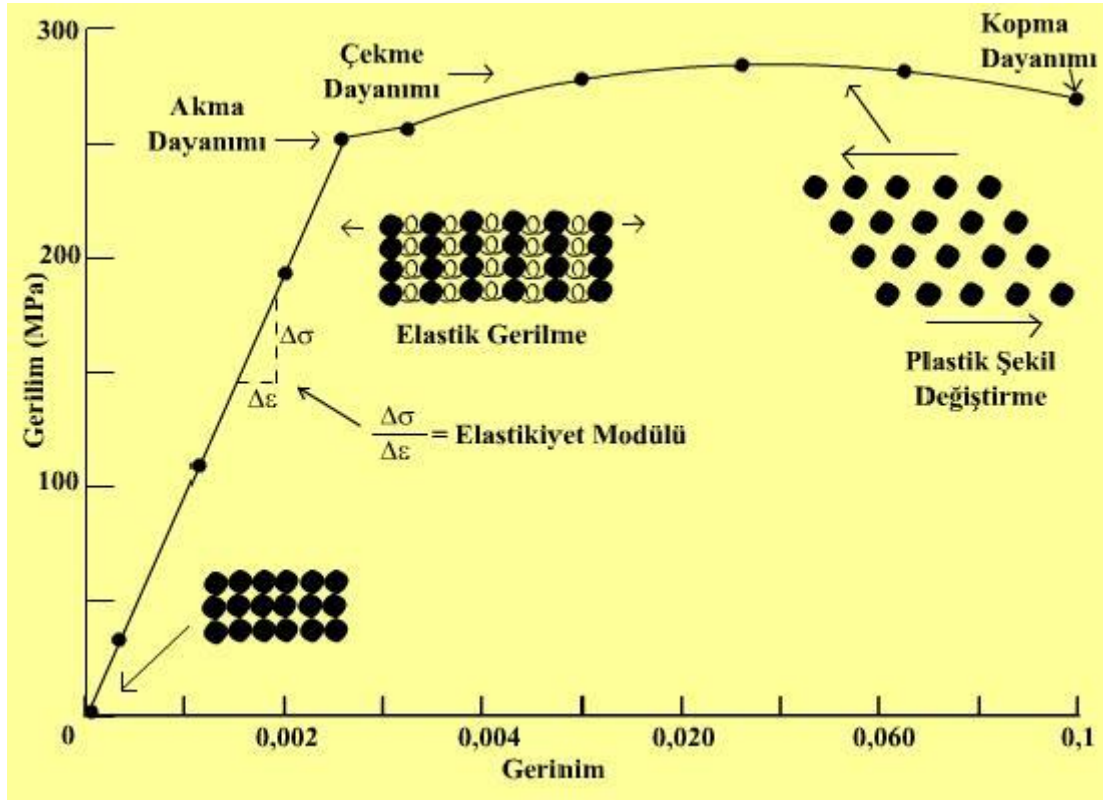
$$\text{Çekme gerilmesi} = F / A_0$$

$$\text{Birim uzama} = e = \Delta l / l_0 = l_i - l_0 / l_0$$

$$\text{Yüzde uzama} = \Delta l / l_0 \times 100$$

Burada F çekme kuvvetini A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, l_0 ilk ölçü boyunu, Δl meydana gelen uzama miktarını gösterir.

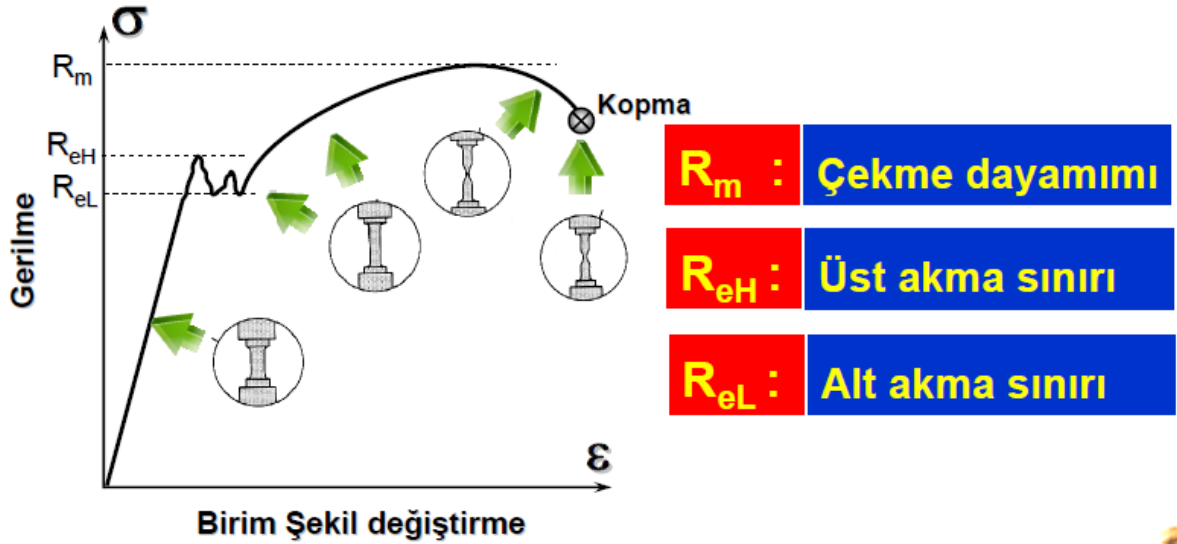
Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine metalografik yapısına bağlı olarak bu malzemeye ait mekanik özellikler değişebilir. Şekil 5’de alüminyum alaşımı için gerilme-genleme diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. Alüminyum Alaşımı için Gerilim-Gerinim eğrisi.

ÇELİĞİN σ - ϵ DAVRANIŞI

✓ Süreksiz Akma Gösteren Sünek Malzeme

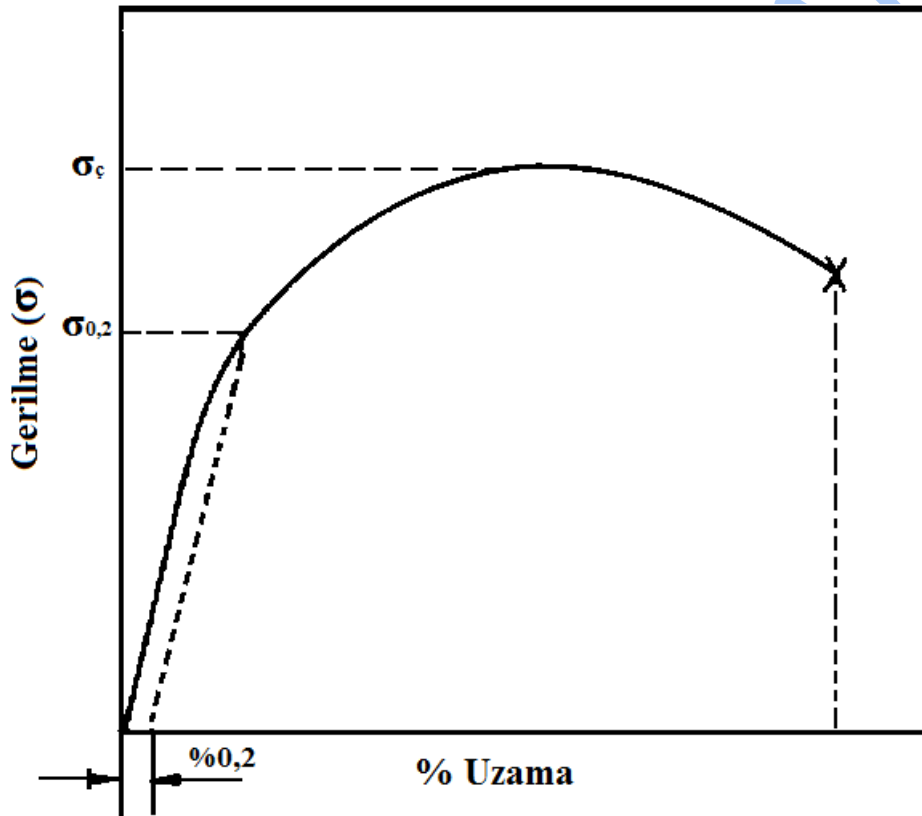


Elastik sınır (σ_e); malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değişiminin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir.

Elastik modül: Mühendislik eğrisinde başlangıçtaki lineer bölgenin eğimi elastik modüldür. Malzemelerin atomlar arası bağ kuvvetine bağlı bir malzeme özelliğidir.

$$E = \sigma_e / \epsilon_e$$

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir, Şekil 3. Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_a = F_a/A_0$) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamadan ($\epsilon_{plastik}=0,002$) eğriye paralel çizilerek karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır. Şekil 6'da belirgin akma göstermeyen bir malzemenin çekme diyagramı ile bu malzemenin akma dayanımının nasıl belirlendiği görülmektedir.



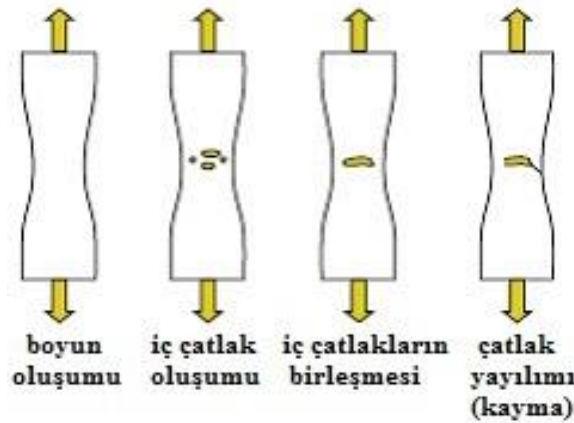
Şekil 6. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram.

Çekme dayanımı ($\sigma_ç$): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, $\sigma_ç = F_{maks}/A_0$ formülü ile bulunur. Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti, A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

Kopma uzaması (ϵ_T): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen toplam yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama $\Delta l = l_k - l_0$ bağıntısı ile bulunur. Burada l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, l_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu

gösterir. Kopma uzaması ise; $\%e_T = \frac{\Delta l}{l_0}$ bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösteren bir değerdir.

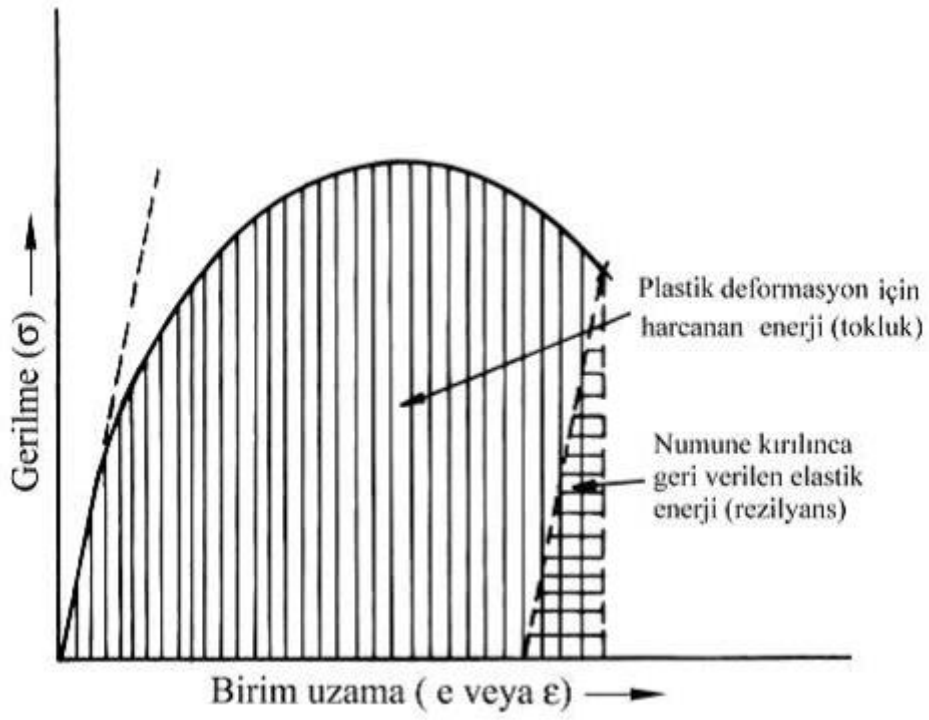
Kopma büzülmesi (%r): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup, $\%r = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme (şekil 7) meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler.



Şekil 7. Boyun verme oluşumu.

Rezilyans: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirmesi için harcanan enerji veya elastik şekil değiştirme sırasında malzemenin depoladığı enerji demektir. Bu enerji, gerilme (σ) - birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan $\left(\frac{\sigma_{el} \cdot \epsilon_{el}}{2} \right)$ ile belirlenir ve numune kırılınca geri verilir, Şekil 8.

Tokluk: Malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılincaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk, genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın $\left(\int_0^{\epsilon_k} \sigma \cdot d\epsilon \right)$ hesaplanması ile bulunur. Bu formüldeki ϵ_k malzemede kırılincaya kadar meydana gelen en yüksek veya toplam birim şekil değiştirme miktarı ve σ ise çekme mukavemetidir. Tokluğun gerilme– birim uzama eğrisi yardımıyla belirlenişi Şekil 8’de gösterilmiştir.



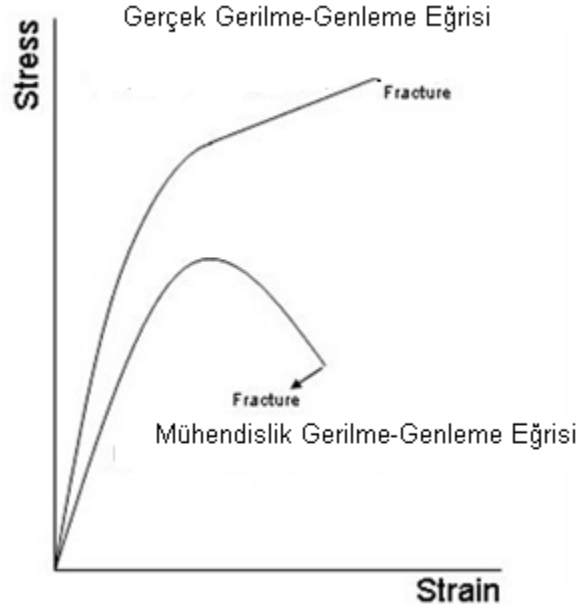
Şekil 8. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi.

Malzemelerin mekanik özellikleri iç yapılarına bağlıdır. İç yapılar ise ısıtılma işlemi değiştirilebilir. Bu nedenle malzemelerin mekanik davranışları uygulanan ısıtılma işlemi göre değişir.

3. ÇEKME EĞRİLERİNİN İRDELENMESİ

Şu ana kadar çekme numunesinin son durumu ile ilk durumunun karşılaştırılması ile elde edilen mühendislik gerilme genleme eğrileri incelendi. Ancak ilk durum deney süresince sürekli değişime uğradığından, özellikle plastik şekil değişimi için her noktadaki gerilme genleme o andaki boyuta göre hesap edilmesi uygun olur. Bu nedenle mühendislik gerilme genleme kavramaları yerine gerçek gerilme-genleme kavramalarını kullanmak gerekir. Her hangi bir malzemeye ait mühendislik gerilme-genleme ve gerçek gerilme-genleme eğrileri Şekil 9’ da verilmiştir.

Çekme deneyi sırasında metalin kristal yapısı bozulur ve atom boyutu mertebesinde bazı boşluklar meydana gelir. Bu boşluklar metalik malzemenin hacminin artmasına sebep olur. Fakat hacimdeki bu artış çok küçüktür, deformasyonun çok fazla olduğu durumlarda bile orijinal hacmin %1’i mertebesinde. Bundan dolayı çekme deneyi sırasında da hacim sabit kaldığı kabul edilebilir.



Şekil 9. Mühendislik ve Gerçek Gerilme Genleme Eğrileri.

$$V_i = V_0 \quad A_i \cdot L_i = A_0 \cdot L_0 \quad \text{yazılabilir.}$$

V_0 = orijinal numune hacmi

V_i = deformasyonun herhangi bir i anındaki numune hacmini göstermektedir.

Buradan $L_i / L_0 = A_0 / A_i$ bağıntısı elde edilir.

Mühendislik uzama e ile gösterilmektedir;

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} = L_i - L_0 / L_0 = L_i / L_0 - 1$$

Buradan; $L_i / L_0 = e + 1$ yazılabilir.

gerçek uzama ise, ϵ ile gösterilmektedir.

$$\epsilon = \ln L_i / L_0 = \ln (1+e)$$

Gerçek gerilme değeri ile mühendislik gerilme arasındaki bağıntı deformasyon sırasında malzeme hacmi sabit kalır kabulünden faydalanılarak şöyle açıklanabilir.

$$A_i \cdot L_i = A_0 \cdot L_0$$

$$\sigma_g = P_i / A_i = P_i \cdot L_i / A_0 \cdot L_0 = \sigma_m \cdot L_i / L_0$$

$$\sigma_g = \sigma_m (1+ e) \text{ elde edilir.}$$

Şekil 9'dan da görüldüğü gibi gerçek gerilme kopma noktasına kadar sürekli artmaktadır. Böylece malzemenin büzülmede dahil olmak üzere plastik şekil değiştirme sırasında sertleştiği söylenebilir. Bu tür sertleşmeye pekleşme veya deformasyon sertleşmesi denilmektedir. Mühendislik gerilme genleme eğrisinin oluşmasında rol oynayan iki etkenden söz edilebilir. Bunlardan biri pekleşme, diğeri ise kesit daralmasıdır. Söz konusu mühendislik gerilme genleme eğrisinde maksimum noktaya kadar pekleşme eğrisi ağır basar. Ancak pekleşme derecesi devamlı azaldığından maksimum noktada pekleşmenin etkisi kesit daralması etkisine eşit olur. Bu noktadan sonra ise kesit daralmasının etkisi daha üstün duruma geçer yani numune büzülür.

Çekme deneyi sonucunda elde edilen gerçek gerilme genleme eğrisine genellikle plastik akış eğrisi adı verilir. Çünkü bu eğri belirli bir deformasyon oranı için metal malzemelerin plastik olarak akışını sağlayan gerilmeleri vermektedir. Eğrinin homojen plastik deformasyonu karakterize eden kısmı matematiksel olarak $\sigma = K \cdot \epsilon^n$ bağıntısı ile ifade edilebilir. Holloman denklemi olarak adlandırılan bu bağıntıda n deformasyon sertleşmesi üssü, K mukavemet katsayısı olarak tanımlanır.

4. Çekme deneyi sonucunda çıkan bu eğriden aşağıda ki mekanik özellikler hesaplanabilir.

- | | |
|---|--|
| a)- Elastisite Modülü (E) | $[E = \sigma / \epsilon]$ |
| b)- Akma mukavemeti (σ_{ak}) | $[\sigma_{ak} = F_{ak} / A_0]$ |
| c)- Çekme mukavemeti ($\sigma_{çek}$) | $[\sigma_{çek} = F_{çek} / A_0]$ |
| d)- Rezilyans (U_R) | $[U_R = \sigma_{ak} \cdot \epsilon / 2]$ |
| | $E = \sigma / \epsilon \text{ idi}$ |
| | $\epsilon = \sigma / E \text{ olur.}$ |

yerine koyarsak $[U_R = \sigma_{ak}^2 / 2E]$

- | | |
|---|--|
| e)- Kopma mukavemeti (σ_{kop}) | $[\sigma_{kop} = F_{kop} / A_0]$ |
| f)- % Uzama miktarı (% ϵ) | $[\% \epsilon = \Delta L / L_0 \cdot 100]$ |
| | $\Delta L = L_k - L_0]$ |

g)- % Kesit daralması [$\% \Delta A = (A_0 - A_k) / A_0 \cdot 100$]

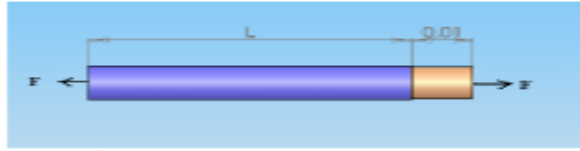
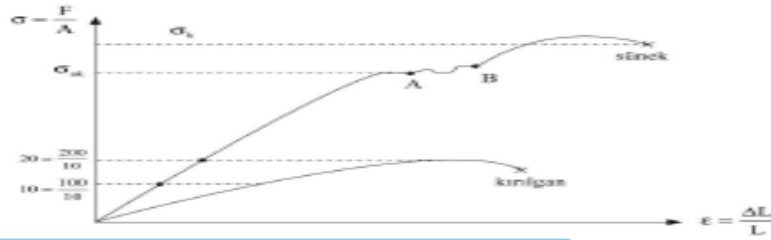
h)- % Uzama miktarı [$\% \Delta L = (L - L_0) / L_0 \cdot 100$]

i)- Tokluk = Çekme eğrisi altında kalan alan

BÖLÜM 5

MALZEME MUKAVEMETİ

HOOKE KANUNU (ÇEKME DENEYİ)



$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

SÜNEK

$$\sigma_{\text{çekme}} = \sigma_{\text{basma}}$$

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_{\text{ak}}}{S}$$

S = Emniyet katsayısı:

S → NORMAL → $1,5 \leq S \leq 2,5$

S → ÖZEL → $2,5 \leq S \leq 4,5$

$$\tau = 0,5 \cdot \sigma$$

$$\tau_{\text{em}} = 0,5 \cdot \sigma_{\text{em}}$$

$$\sigma \leq \sigma_{\text{em}}$$

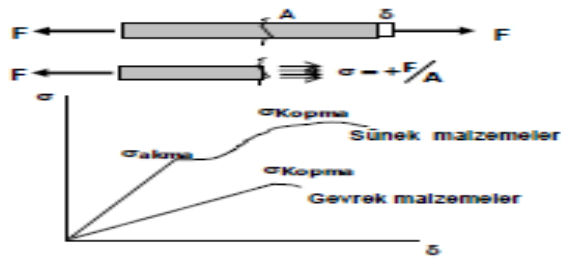
$$\tau \leq \tau_{\text{em}}$$

KIRILGAN

$$\sigma_{\text{basma}} > \sigma_{\text{çekme}}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow \frac{F}{A} = E \cdot \frac{\Delta L}{L} \rightarrow \Delta L = \frac{F \cdot L}{E \cdot A}$$

* Elastikiyet Modülü	
Çelik	210.000 N/mm ²
Alüminyum	70.000 N/mm ²
D. Demir	110.000 N/mm ²
Magnezyum	45.000 N/mm ²
Ağaç	10.000 N/mm ²



Mukavemet Hesabı

$$\sigma_{mak} \leq \sigma_{em}$$

sünek malzemeler

$$\sigma_{em \text{ statik}} = \frac{\sigma_{ak}}{S}$$

gevrek malzemeler

$$\sigma_{em \text{ statik}} = \frac{\sigma_K}{S} \cdot \frac{1}{K_{çentik}}$$

Emniyet Katsayısı

normal $S \rightarrow 1.5 \dots 2$

özel $S \rightarrow 3 \dots 4$

YORULMA

$$\sigma_{em \text{ dinamik}} = \frac{\sigma_d}{S} \cdot \frac{K_y \cdot K_b}{K_{ç}} \cdot K_d$$

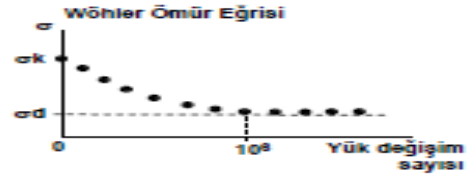
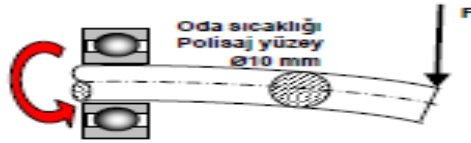
σ_d : Sürekli mukavemet – yorulma dayanıklılığı : malzemenin 10^6 dan fazla yük değişimine dayandığı gerilme.

$K_{ç}$: Çentik faktörü

K_y : Yüzey faktörü

K_b : Büyüklük faktörü

K_d : Diğer faktörler



Çelik : $\sigma_d \approx 0.5 \cdot \sigma_K \leftarrow \sigma_K \leq 1400 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_d \approx 700 \text{ N/mm}^2 \leftarrow \sigma_K > 1400 \text{ N/mm}^2$
 Demir : $\sigma_d \approx 0.4 \cdot \sigma_K$
 Demirsiz metaller : $\sigma_d \approx 0.3 \cdot \sigma_K$

Dr. M. Tolga

K_ç Çentik Faktörü :
 $K_{\check{c}} = 1$ çentiksiz
 $K_{\check{c}} = 1 + q (Kt-1)$
 $K_{\check{c}ida} \approx 1,3$

K_b büyüklük faktörü
 büyüklük
 $K_b = 1$ $d \leq 10$ mm

K_y yüzey faktörü :
 $K_y = 1$ polisaj
 $K_y = 0,88$ taşlama

Torna ve soğuk işlem :
 $K_y = 0,84$ $\sigma_K = 400$
 $K_y = 0,75$ $\sigma_K = 600$
 $K_y = 0,71$ $\sigma_K = 800$
 $K_y = 0,67$ $\sigma_K = 1000$
 $K_y = 0,65$ $\sigma_K = 1200$
 $K_y = 0,63$ $\sigma_K = 1600$ N/mm²

Diğer Faktörler : $K_d = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots$

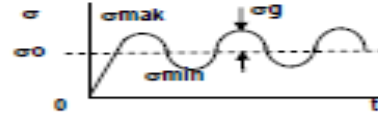
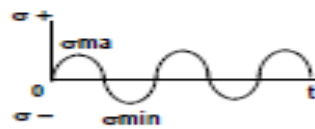
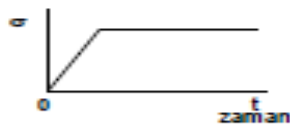
Sıcaklık Faktörü : çelik için 350°den küçük sıcaklıklarda $K_T = 1$
 350°den büyük sıcaklıklarda $K_T = 0,5$ alınır

Güvenirlilik Faktörü : %8 standart sapmalı bir imalatla :
 %50 güvenirlilik için $K_g = 1$
 %90 güvenirlilik için $K_g = 0,9$
 %99 güvenirlilik için $K_g = 0,8$
 %99,9 güvenirlilik için $K_g = 0,75$
 %99,9999 güvenirlilik için $K_g = 0,62$

Kaplama Faktörü: Yorulan kaplamalı elemanlarda $K_k = 0,65$ alınır.

Artık Gerilme Faktörü

ZAMANA KARŞI YÜK ÇEŞİTLERİ



$$\sigma_o = \frac{\sigma_{mak} + \sigma_{min}}{2} \quad \sigma_g = \frac{\sigma_{mak} - \sigma_{min}}{2}$$

	Statik yük	Dinamik Yük	Statik+Dinamik yük
Sünek malzeme	$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{ak}}{S}$	$\sigma_{em} = \frac{\sigma_d}{S} \cdot K_y \cdot K_b \cdot K_d$	$\frac{\sigma_{eq}}{\text{statik}} = \sigma_o + \sigma_g \cdot \frac{\sigma_{ak} - K_{\check{c}}}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \leq \frac{\sigma_{ak}}{S}$
Gevrek malzeme	$\sigma_{em} = \frac{\sigma_K}{S} \cdot \frac{1}{K_{\check{c}}}$		$\frac{\sigma_{eq}}{\text{statik}} = \sigma_o + \sigma_g \cdot \frac{\sigma_K - K_{\check{c}}}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \leq \frac{\sigma_K}{S}$

Sünek malzemelerde : σ_{em} çekme $\approx \sigma_{em}$ basma $\approx \sigma_{em}$ eğilme τ_{em} kayma $\approx \tau_{em}$ burulma $\approx \frac{0,5}{\text{veya } 0,577} \cdot \sigma_{em}$ çekme

GERİLME ÇEŞİTLERİ VE BİLEŞİK GERİLME

Çekme gerilmesi: $\sigma = +F/A$

Basma gerilmesi: $\sigma = -F/A$. $p = -F/A$

Kayma gerilmesi: $\tau = +F/A$. $\tau = +K \cdot F/A$

Eğilme gerilmesi: $\sigma_{düz} = \pm Mc/I$.

Burulma gerilmesi: $\tau_{daire} = +Mr/I_p$.

II- toplanamayan gerilmelede eşdeğer bileşke : $\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + \frac{4}{3} \cdot \tau^2}$

BİLEŞİK GERİLME

I - Aynı doğrultudaki aynı cins gerilmeler toplanabilir:

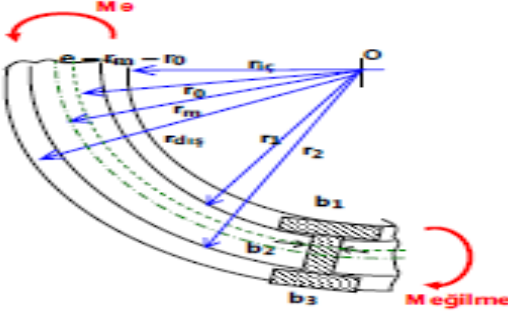
toplam dik gerilme = +çekme $\pm$ eğilme : $\sigma_t = \pm \sigma_1 \pm \sigma_2$

toplam kayma gerilmesi = $\pm$ kayma $\pm$ burulma : $\tau_t = \pm \tau_1 \pm \tau_2$

Eşdeğer statik genel bileşke denklemi

$$\sigma_{beş} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{ak} \cdot K_c}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{ak} \cdot K_c}{\tau_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2} \leq \sigma_{em \text{ statik}} = \frac{\sigma_{ak}}{S}$$

EĞRİ KİRİŞLERDE EĞİLME



$$\sigma_{iç} = + \frac{M \cdot (r_o - r_{iç})}{A \cdot e \cdot r_{iç}}$$

$$\sigma_{dış} = - \frac{M \cdot (r_{dış} - r_o)}{A \cdot e \cdot r_{dış}}$$

$$r_o \text{ dikdörtgen profil} = \frac{A}{b_1 \ln \frac{r_1}{r_{iç}} + b_2 \ln \frac{r_2}{r_1} + b_3 \ln \frac{r_{dış}}{r_2}}$$

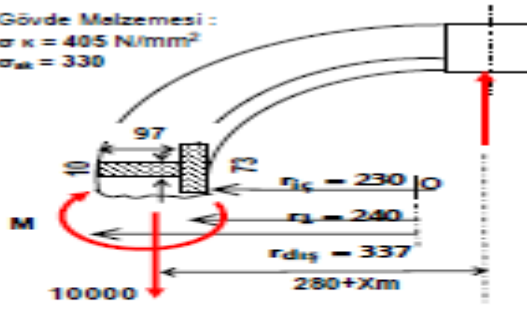
$$r_o \text{ daire} = \frac{d}{4(r_m - \sqrt{r_m^2 - (d/2)^2})}$$

ÖDEV SORU-1

Gövde Malzemesi :

$\sigma_k = 405 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{ak} = 330$



toplam dik gerilme = +çekme $\pm$ eğilme

$$\sigma_t = + \sigma_1 \pm \sigma_2$$

$$\sigma_k = \frac{F}{A} + \frac{M \cdot (r_o - r_{iç})}{A \cdot e \cdot r_{iç}}$$

$$\sigma_{dış} = \frac{F}{A} - \frac{M \cdot (r_{dış} - r_o)}{A \cdot e \cdot r_{dış}}$$

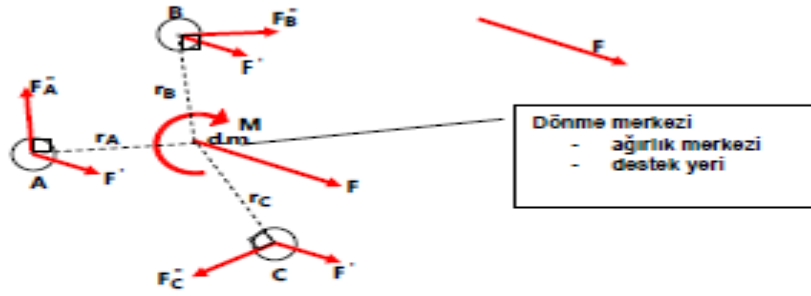
$$r_o \text{ dikdörtgen profil} = \frac{A}{b_1 \ln \frac{r_1}{r_{iç}} + b_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\sigma_{beş} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{ak} \cdot K_c}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{ak} \cdot K_c}{\tau_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2} \leq \sigma_{em \text{ statik}}$$

BÖLÜM 6 MOMENT TAŞIYAN BAĞLANTILAR

- Noktasal – perçin, civata, pim, menteşe, çivi
- Çizgisel – kaynak, lehim
- Yüzeyel – yapıştırma

NOKTASAL BAĞLANTILAR



Kuvvet etkisi ile bağlantı kuvveti $F' = \frac{F}{n}$ $\rightarrow F'_x = \frac{F_x}{n}$ $F'_y = \frac{F_y}{n}$

$\vec{F}' \parallel \vec{F}$

n bağlantı sayısı

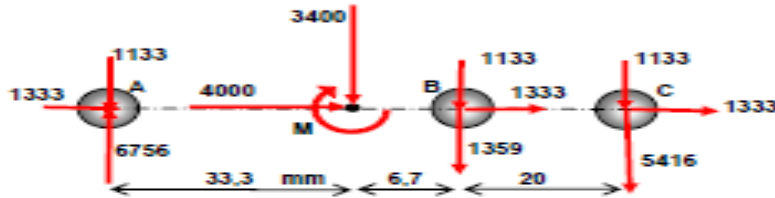
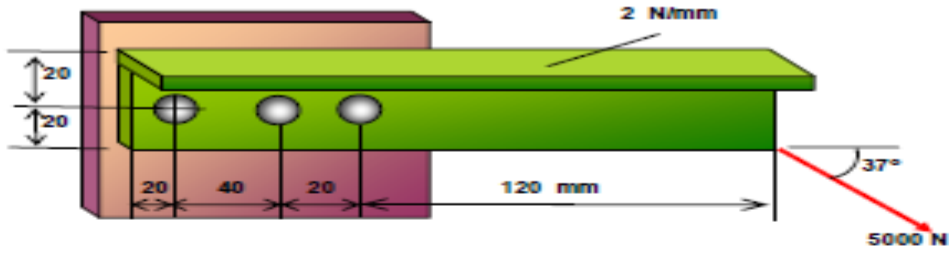
Moment etkisi ile bağlantı kuvveti $F'' = \frac{M \cdot \frac{\vec{r}}{\sum r^2}}{\sum r^2}$ $\rightarrow F''_x = \frac{M \cdot r_y}{\sum r^2}$ $F''_y = \frac{M \cdot r_x}{\sum r^2}$

$\vec{F}'' \perp \vec{r}$ $\sum r^2 = \sum (r_x^2 + r_y^2)$

bağlantının merkeze uzaklığı

Dr. M. Tolga

Örnek problem : Ø8 mm'lik perçinlerin emniyet katsayısını bulunuz : $S = ?$ $\sigma_{ak}=300 \text{ N/mm}^2$



$$x_{cm} = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0 + 40 \cdot A + 60 \cdot A}{3 \cdot A} = 33,3$$

$$F_x = 4000 \quad F_y = -3000 - 2 \cdot 200 = -3400$$

$$M = -3000 \cdot 146,7 - 2 \cdot 200 \cdot 46,7 + 4000 \cdot 20 = -378780 \text{ Nmm}$$

$$F_x' = \frac{F_x}{n} = \frac{4000}{3} = 1333 \quad F_y' = \frac{F_y}{n} = \frac{3400}{3} = 1133$$

$$\sum r^2 = 33,3^2 + 6,7^2 + 26,7^2 = 1867$$

$$F_x'' = \frac{M \cdot r_{Ay}}{\sum r^2} = 0 \quad F_{Ay} = \frac{M \cdot r_{Ax}}{\sum r^2} = \frac{378780 \cdot 33,3}{1867} = 6756$$

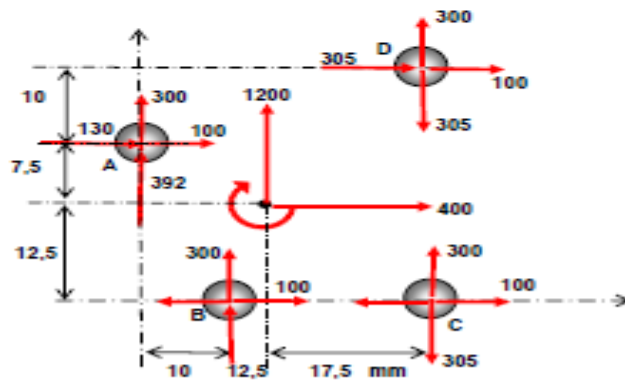
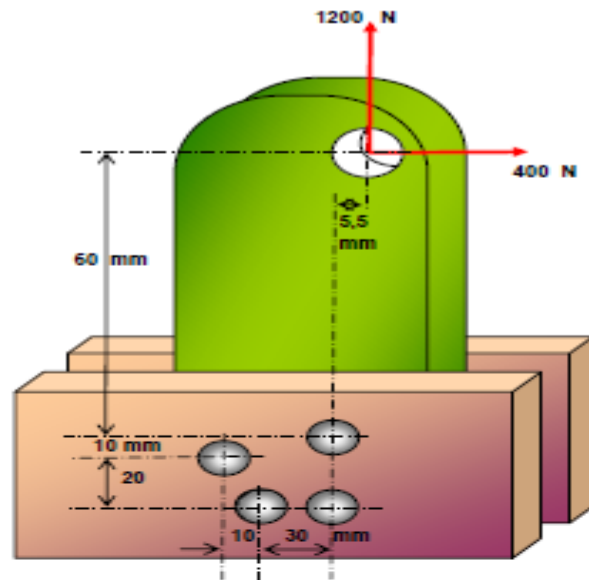
$$F_{Cy} = \frac{M \cdot r_{Cx}}{\sum r^2} = \frac{378780 \cdot 26,7}{1867} = 5416$$

$$F_{mak_C} = \sqrt{1333^2 + (-1133 - 5416)^2} = 6683$$

$$\tau_{mak} = \frac{F}{A} = \frac{6683}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 133 = 0,5 \cdot \frac{300}{S}$$

$$S = 113 \rightarrow \text{yetersiz}$$

Dr. M.



Örnek problem :
 $\phi 6$ mm.lik perçinlerin emniyet katsayısını
 bulunuz : $S = ?$
 $\sigma_{ak} = 200 \text{ N/mm}^2$

Çözüm:

$$X_m = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$X_m = \frac{0 + 10A + 40A + 40A}{4 \cdot A} = 22,5$$

$$Y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$Y_m = \frac{20A + 0 + 30A}{4 \cdot A} = 12,5$$

$$F_x = 400 \quad F_y = 1200$$

$$M = -400 \cdot 77,5 + 1200 \cdot 23 = -3400$$

$$F_x' = \frac{F_x}{n} = \frac{400}{4} = 100$$

$$F_y' = \frac{F_y}{n} = \frac{1200}{4} = 300$$

$$\sum r^2 = \sum (r_x^2 + r_y^2)$$

$$\sum r^2 = 22,5^2 + 7,5^2 + 12,5^2 + 12,5^2 + 17,5^2 + 12,5^2 + 17,5^2 + 17,5^2 = 1950$$

$$F_{Ax}' = \frac{M \cdot r_{Ay}}{\sum r^2} = \frac{3400 \cdot 7,5}{1950} = 130$$

$$F_{Ay}' = \frac{M \cdot r_{Ax}}{\sum r^2} = \frac{3400 \cdot 22,5}{1950} = 392$$

$$F_{Dx}' = \frac{M \cdot r_{Dy}}{\sum r^2} = \frac{3400 \cdot 17,5}{1950} = 305$$

$$F_{Dy}' = \frac{M \cdot r_{Dx}}{\sum r^2} = \frac{3400 \cdot 17,5}{1950} = 305$$

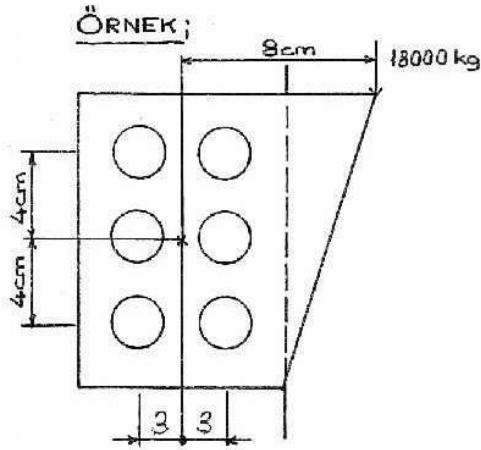
$$F_{mak_A} = \sqrt{(130 + 100)^2 + (300 + 392)^2}$$

$$F_{mak_A} = 727$$

$$\tau_{mak} = \frac{F}{A} = \frac{727}{2 \cdot \pi \cdot \frac{6^2}{4}} = 12,8 = 0,5 \cdot \frac{200}{S}$$

$$S = 7,81 \text{ fazla}$$

Dr. M.

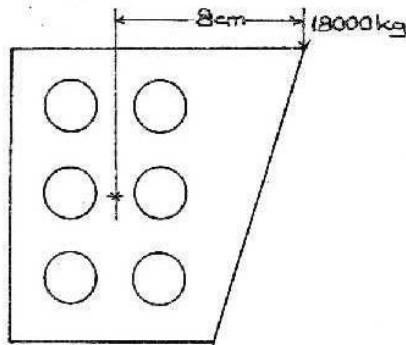


Sekilde görülen eksantrik yüklenmiş perçin bağlantısına 18000 kg lık yük belirtilen tarzda uygulanırsa perçinlerin gövdesinde oluşacak max kesme gerilmesi ne olur?

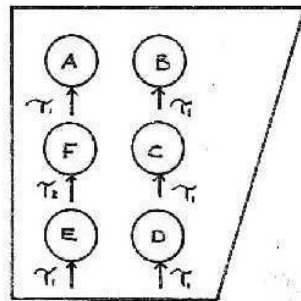
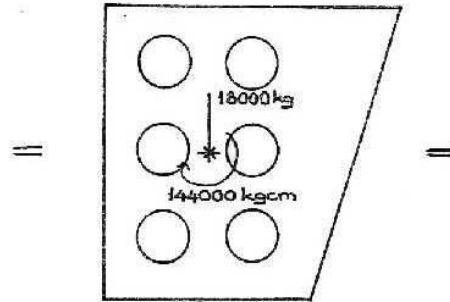
Genel Not; Eksantrik yüklenmiş perçin bağlantılarında sadece kesmeye göre hesap yapılır. Levhalarda ki çekme ve basma gerilmesi araştırılmaz.

Tek kesmeli $d = 2 \text{ cm}$

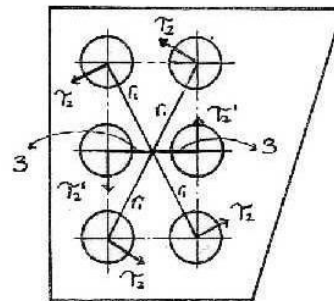
$\tau_{\max} = ?$



$$\Sigma M = 18000 \cdot 8 = 144000 \text{ kgcm}$$



+



r 'ler farklı olduğundan τ_2 alınır.

$$\tau_1 = \frac{F}{\Sigma A} = \frac{18000}{6 \cdot \pi \cdot 2^2} = 955 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{M r}{\Sigma A r^2}$$

$$\Sigma A r^2 = A r_1^2 + A r_2^2 + \dots + A r_n^2$$

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ cm}$$

$$\Sigma A r^2 = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} (4.5^2 + 2.3^2) = 354 \text{ cm}^4$$

τ_2 tüm perçinlerde aynı değildir. Burada B ve C perçinlerinden şüpheleniyoruz.

C için;

$$\tau_2' = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{144000 \cdot 3}{354} = 1220 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_2' = 955 + 1220 = \underline{2175 \text{ kg/cm}^2}$$

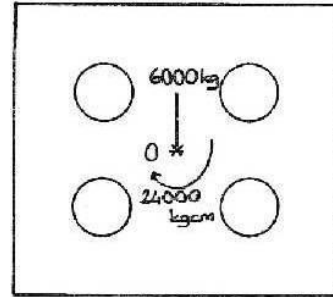
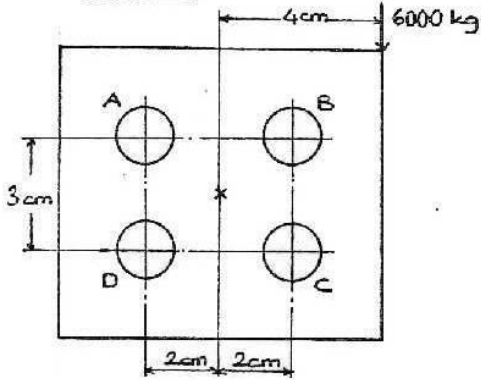
B için;

$$\tau_{2x} = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{144000 \cdot 4}{354} = 1627 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{2y} = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{144000 \cdot 3}{354} = 1220 \text{ kg/cm}^2$$

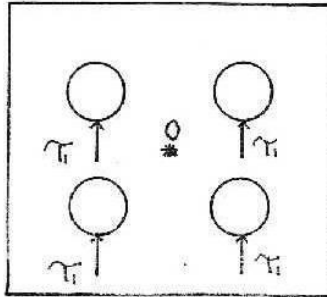
$$\tau_b = \sqrt{(955 + 1220)^2 + 1627^2} = \underline{2716 \text{ kg/cm}^2} = \tau_{\max}$$

ÖRNEK;

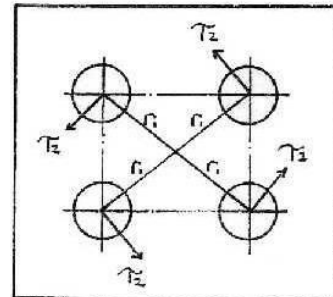


$$\Sigma M_O = -6000 \cdot 4 = -24000 \text{ kgcm}$$

Tek kesmeli $d = 1.5 \text{ cm}$ $\tau_{\max} = ?$



+



$$\tau_1 = \frac{P}{A} = \frac{6000}{4 \cdot \frac{\pi \cdot 1.5^2}{4}} = 849 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_1 = \sqrt{2^2 + 1.5^2} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\Sigma A r^2 = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 1.5^2}{4} \cdot (2.5)^2 = 44 \text{ cm}^4$$

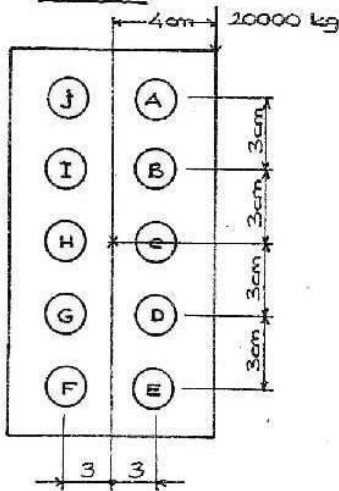
B ve C aynı zorlanmaya maruzdur ve daha tehlikelidir.

$$\tau_{2x} = \frac{24000 \cdot 1.5}{44} = 818 \text{ kg/cm}^2$$

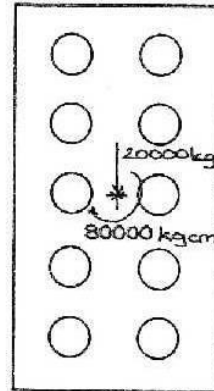
$$\tau_{2y} = \frac{24000 \cdot 2}{44} = 1090 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \tau_{\max} = \sqrt{(849 + 1090)^2 + 818^2} = 2104 \text{ kg/cm}^2$$

ÖRNEK;

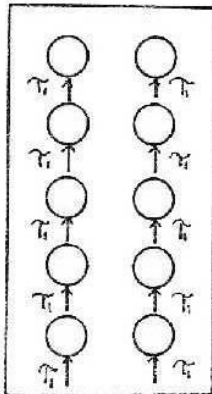


=

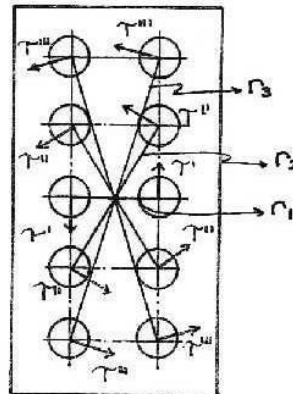


$$\Sigma M = 20000 \cdot 4 = 80000 \text{ kgcm}$$

Tek kesmeli $d = 2 \text{ cm}$ $\tau_{\max} = ?$



+



$$\tau_1 = \frac{F}{\Sigma A} = \frac{20000}{\frac{10 \cdot \pi \cdot 2^2}{4}} = 636 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_1 = 3 \text{ cm} \quad r_3 = \sqrt{3^2 + 6^2} = \sqrt{45} \text{ cm}$$

$$r_2 = \sqrt{3^2 + 3^2} = \sqrt{18} \text{ cm}$$

$$\Sigma A r^2 = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} (2 \cdot 3^2 + 4 \sqrt{18}^2 + 4 \sqrt{45}^2) = 847 \text{ cm}^4$$

C için;

$$\tau_2' = \frac{M r}{\Sigma A r^2} = \frac{80000 \cdot 3}{847} = 283 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_2' = 636 + 283 = 919 \text{ kg/cm}^2$$

B için;

$$\tau_{2x}'' = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{80000 \cdot 3}{847} = 283 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{2y}'' = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{80000 \cdot 3}{847} = 283 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_B = \sqrt{(\tau_{2y}'' + \tau_1)^2 + (\tau_{2x}''^2)} = \sqrt{(283 + 636)^2 + (283)^2} = 962 \text{ kg/cm}^2$$

A için;

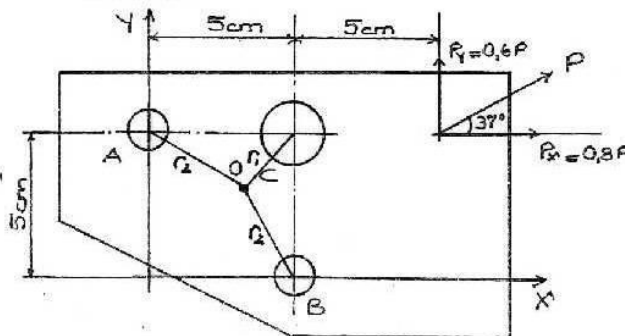
$$\tau_{2x}''' = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{80000 \cdot 6}{847} = 576 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{2y}''' = \frac{M \cdot r}{\Sigma A r^2} = \frac{80000 \cdot 3}{847} = 283 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_A = \sqrt{(\tau_1 + \tau_{2y}''')^2 + (\tau_{2x}'''^2)} = \sqrt{(636 + 283)^2 + (576)^2} = 1076 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \tau_A = 1076 \text{ kg/cm}^2$$

ÖRNEK;



$S_A = S_B = 0.2 \text{ cm}^2$
 $S_C = 0.6 \text{ cm}^2$
 $\tau_{\max} = 2000 \text{ kg/cm}^2$
 Tek kesmeli

$P_{\max} = ?$

Sekilde görülen perçinli bağlantıdaki A ve B perçinlerinin alanları $0,2 \text{ cm}^2$ 'şer, C perçininin alanı ise $0,6 \text{ cm}^2$ 'dir. Perçinlerde oluşacak max. kesme gerilmesinin 2000 kg/cm^2 yi geçmemesi istendiğine göre uygula nabilecek max. P 'yi bulunuz.

$$\bar{X} = \frac{\sum XA}{\sum A} = \frac{X_1 A_1 + X_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y.A}{\sum A} = \frac{Y_1.A_1 + Y_2.A_2}{A_1 + A_2}$$

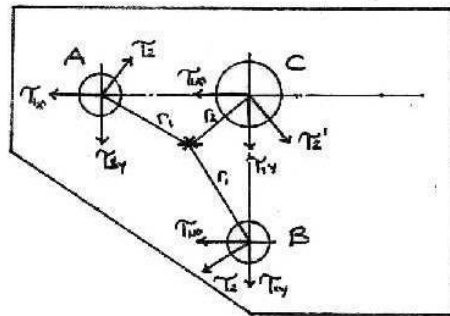
$$\bar{X} = \frac{5.0,6 + 5.0,2}{0,6 + 2.0,2} = 4 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{5.0,6 + 5.0,2}{0,6 + 0,2.2} = 4 \text{ cm}$$

$$r_1 = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} \text{ cm} \quad r_2 = \sqrt{1^2 + 4^2} = \sqrt{17} \text{ cm}$$

$$\sum M_o = -0,8P.1 + 0,6P.6 = 2,8P$$

$$\sum A r^2 = 2.0,2.(\sqrt{17})^2 + 0,6.(\sqrt{2})^2 = 8 \text{ cm}^4$$



En tehlikeli perçin B 'dir.

$$\tau = \frac{P}{\sum A} \Rightarrow \tau_{1x} = \frac{0,8P}{(2.0,2) + 0,6} = 0,8P$$

$$\tau_{1y} = \frac{0,6P}{(2.0,2) + 0,6} = 0,6P$$

$$\tau_{2x} = \frac{2,8P.4}{8} = 1,4P \quad \tau_{2y} = \frac{2,8P.1}{8} = 0,35P$$

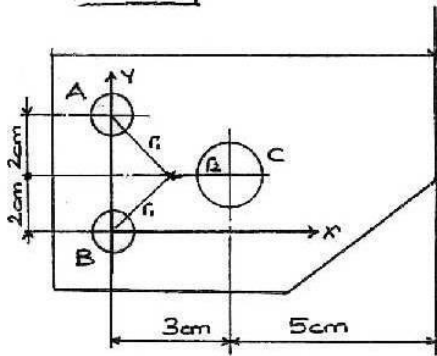
$$\tau_{max} = \tau_B = \sqrt{(\tau_{1x} + \tau_{2x})^2 + (\tau_{1y} + \tau_{2y})^2}$$

$$= \sqrt{(0,8P + 1,4P)^2 + (0,6P + 0,35P)^2} = 2,4P$$

$$\tau_{max} = 2,4P$$

$$2000 = 2,4P \Rightarrow P = \underline{833 \text{ kg}}$$

ÖRNEK :



$$r_1 = \sqrt{1.5^2 + 2^2} = 2.5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 1.5 \text{ cm}$$

$$\Sigma Ar^2 = 2.1. (2,5)^2 + 2 (1,5)^2 = 17 \text{ cm}^4$$

$$S_A = S_B = 1 \text{ cm}^2$$

$$S_c = 2 \text{ cm}^2$$

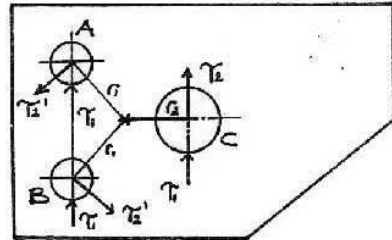
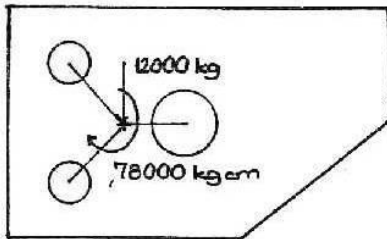
Tek kesmeli

$$r_{\max} = ?$$

$$\bar{X} = \frac{2.3}{1.2+2} = 1.5 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{2.2 + 4.1}{1.2 + 2} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\Sigma M = -12000 \cdot 6,5 = 78000 \text{ kgcm}$$



A ve C perçinleri tehlikelidir.

C için;

$$\tau_1 = \frac{12000}{1+1+2} = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{78000 \cdot 1.5}{17} = 6882 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_2 = 3000 + 6882 = \underline{9882 \text{ kg/d}}$$

A line;

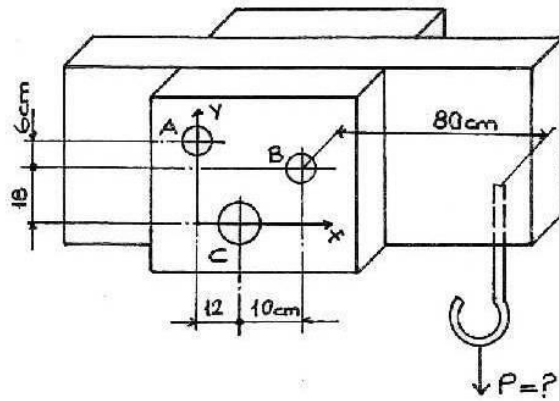
$$\tau_{2x}^1 = \frac{78000 \cdot 2}{17} = 9176 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{24} = \frac{72000 \cdot 1.5}{17} = 6882 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_A = \sqrt{(\tau_1 - \tau_2 \dot{\gamma})^2 + (\tau_2 \dot{\gamma})^2} = \sqrt{(3000 - 6882)^2 + (9176)^2} = \underline{9963 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = \underline{9963 \text{ kg/cm}^2}$$

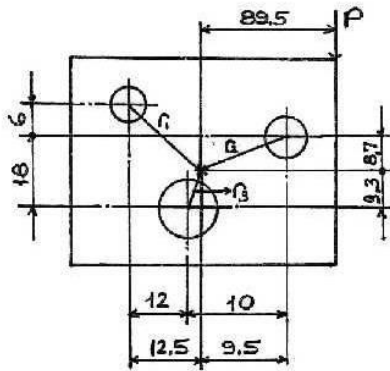
ÖRNEK



$$\begin{aligned} S_A &= 10 \text{ cm}^2 \\ S_B &= 15 \text{ cm}^2 \\ S_C &= 30 \text{ cm}^2 \\ G_{\text{tek}} &= 4000 \text{ kg/cm}^2 \\ EMK &= 3 \end{aligned}$$

$$\bar{X} = \frac{30 \cdot 12 + 15 \cdot 22}{10 + 15 + 30} = 12,5 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 24 + 15 \cdot 18}{10 + 15 + 30} = 9,3 \text{ cm}$$



$$r_1 = \sqrt{12,5^2 + (6 + 8,7)^2} = 19,3 \text{ cm}$$

$$r_2 = \sqrt{9,5^2 + 8,7^2} = 12,9 \text{ cm}$$

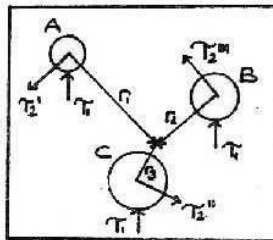
$$r_3 = \sqrt{0,5^2 + 9,3^2} = 9,3 \text{ cm}$$

$$\sum A r^2 = 2 \cdot [10 \cdot (19,3)^2 + 15 \cdot (12,9)^2 + 30 \cdot (9,3)^2] = 8815 \text{ cm}^4$$

$$\text{Çift kesme olduğundan ; } 8815 \cdot 2 = 17630 \text{ cm}^4$$

Not: Çift kesme olunca $A r^2$, 2 ile çarpılır.

$$\sum M_o = 89,5 \cdot P$$



A için;

$$\tau_1 = \frac{P}{(10+15+30) \cdot 2} = \frac{P}{40} \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{12}^A = \frac{89,5P \cdot (6+8,3)}{17630} = 0,07P$$

$$\tau_{21}^A = \frac{89,5P \cdot 12,5}{17630} = 0,06P$$

$$\tau_A = \sqrt{(\tau_1 - \tau_{21}^A)^2 + (\tau_{12}^A)^2}$$

$$\tau_A = \sqrt{\left(\frac{P}{40} - 0,06P\right)^2 + (0,07P)^2} = 0,086P$$

B için;

$$\tau_{12}^B = \frac{89,5P \cdot 8,7}{17630} = 0,041P$$

$$\tau_{21}^B = \frac{89,5P \cdot 3,5}{17630} = 0,048P$$

$$\tau_B = \sqrt{(\tau_1 + \tau_{21}^B)^2 + (\tau_{12}^B)^2}$$

$$\tau_B = \sqrt{\left(\frac{P}{40} + 0,048P\right)^2 + (0,041P)^2} = 0,072P$$

C için;

$$\tau_{12}^C = \frac{89,5P \cdot 9,3}{17630} = 0,047P$$

$$\tau_{21}^C = \frac{89,5P \cdot 0,5}{17630} = 0,002P$$

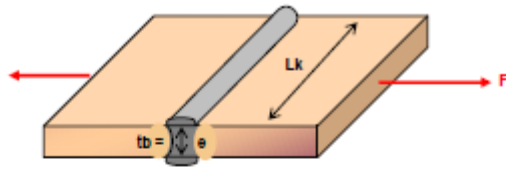
$$\tau_C = \sqrt{(\tau_1 - \tau_{21}^C)^2 + (\tau_{12}^C)^2}$$

$$\tau_C = \sqrt{\left(\frac{P}{40} - 0,002P\right)^2 + (0,047P)^2} = 0,047P$$

$$\tau_{\max} = 0,086P$$

$$EMK = \frac{\text{Day.}}{\text{Ger.}} \Rightarrow 3 = \frac{4000 \cdot 0,8}{0,086P} \Rightarrow P = 7751 \text{ kg}$$

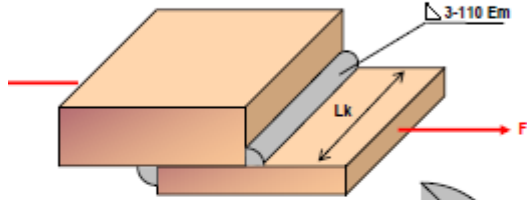
BÖLÜM 7
KAYNAK (ÇİZGİSEL) BAĞLANTILARI 7



Alın kaynağı : boşluk kalınlığı : $t_b \approx e$

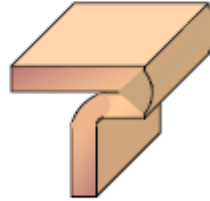
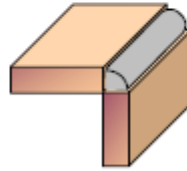
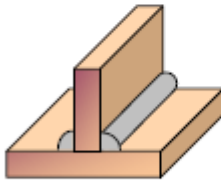
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{t_b \cdot L_k}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{t_b \cdot L_k}$$



Köşe Kaynağı :

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\sum t_b \cdot L_k}$$



Kaynak mukavemeti:

$$\sigma_{em}^{kaynak} = K \cdot \sigma_{em}^{bağlantı\ elemanı}$$

$$\sigma_K^{sarı\ lehim} \approx 250 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{kurşun\ lehim} \approx 30 \text{ N/mm}^2$$

K	kalite	Uygun malzeme	Uygun işçilik	Kalite Kontrol
1	I.kalite	+	+	+
0,8	II.kalite	+	+	-
0,5	III.kalite	±	±	-

Moment Taşıyan Kaynaklarda Gerilme

$$F' = \frac{F}{n} \quad F'' = \frac{M \cdot r}{\sum r^2}$$

Kuvvet etkisi ile kaynak gerilmesi

$$\tau' = \frac{F}{\sum A} \quad \tau'_x = \frac{F_x}{\sum A} \quad \tau'_y = \frac{F_y}{\sum A}$$

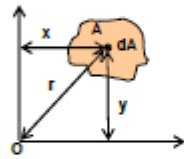
$$\vec{\tau}' \parallel \vec{F}$$

Moment etkisi ile kaynak gerilmesi

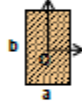
$$\tau'' = \frac{M \cdot r}{I_{pt}} \quad \tau''_x = \frac{M \cdot r_y}{I_p} \quad \tau''_y = \frac{M \cdot r_x}{I_p}$$

$$\vec{\tau}'' \perp \vec{r}$$

ATALET MOMENTİ



$$I_x = \int y^2 \cdot dA \quad I_y = \int x^2 \cdot dA \quad I_p = \int r^2 \cdot dA$$



$$I_{ox} = \frac{a \cdot b^3}{12} \quad I_{oy} = \frac{b \cdot a^3}{12}$$



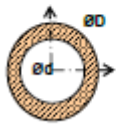
$$I_{ox} = I_{oy} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad I_{op} = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$I_{op} \text{ çubuk } b) \cdot a \approx \frac{a \cdot b^3}{12}$$

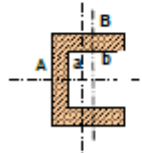
$$I_{op} \text{ kaynak } \approx \frac{t_b \cdot L^3}{12}$$

BİLEŞİK ŞEKİLLERİN ATALET MOMENTİ

I - Aynı Eksene göre olan ataletler toplanabilir

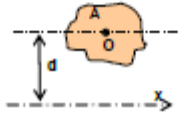


$$I_{o \text{ boru}} = \pi \frac{D^4}{64} - \pi \frac{d^4}{64} \quad I_{op \text{ boru}} = \pi \frac{D^4}{32} - \pi \frac{d^4}{32}$$



$$I_x = \frac{A \cdot B^3}{12} - \frac{a \cdot b^3}{12} \quad I_y, I_p \text{ çıkartılama z}$$

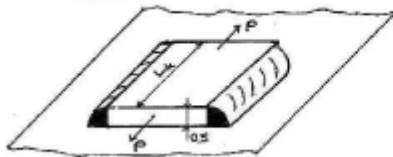
II - Paralel Eksenler Teoremi



$$I_x = I_{ox} + A \cdot d^2$$

$$I_p = I_{op} + A \cdot d^2$$

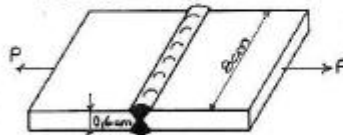
ÖRNEK;



II. Kalite
G_{ak} = 3500 kg/cm²
P = 3 ton
EMK = 3
L_k = ?

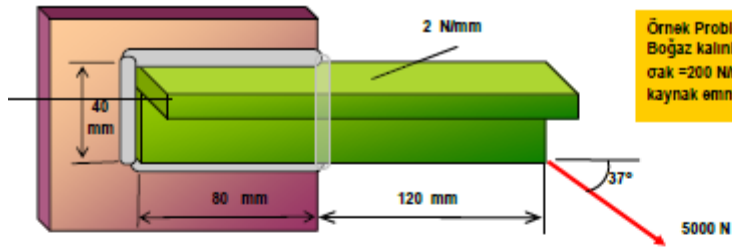
$$T = \frac{P}{A} = \frac{3000}{(0,5 \cdot \cos 45^\circ \cdot L_k) \cdot 2} = \frac{3500 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{3} \Rightarrow L_k = 9,1 \text{ cm}$$

ÖRNEK;

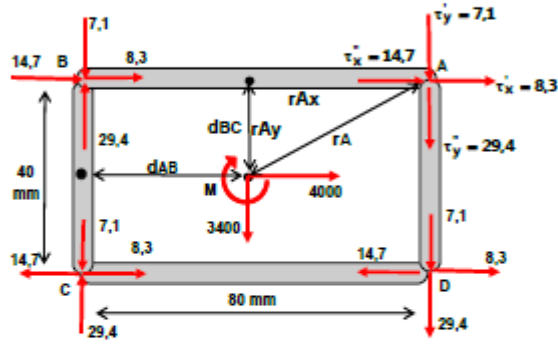


G_{ak} = 4000 kg/cm²
EMK = 1
II. Kalite
P_{max} = ?

$$G_s = \frac{P}{A} \Rightarrow P = G_s \cdot A \quad P_{max} = 4000 \cdot 0,5 \cdot (0,5 \cdot 5) = 15360 \text{ kg}$$



Örnek Problem:
Boğaz kalınlığı $t_b=2$ mm
örak $=200$ N/mm²
kaynak emniyeti $S=?$



$$\tau_x' = \frac{F_x}{\sum A} \quad \tau_y' = \frac{F_y}{\sum A}$$

$$\tau_x'' = \frac{M \cdot r_y}{I_p} \quad \tau_y'' = \frac{M \cdot r_x}{I_p}$$

Kaynak dikişleri:
AB : 80 mm x 2 adet
BC : 40 mm x 2 adet
Toplam dikiş alanı : 240 x 2

$$F_x = -4000 \quad F_y = -3000 - 2 \cdot 200 = -3400$$

$$M = -3000 \cdot 160 + 4000 \cdot 20 - 2 \cdot 200 \cdot 60 = -424000$$

$$I_{p_{AB/CD}} = I_{op} + A \cdot d^2 = \frac{2 \cdot 80^3}{12} + 2 \cdot 80 \cdot 20^2 \Rightarrow 149000 \times 2$$

$$I_{p_{BC/AD}} = \frac{2 \cdot 40^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 40^2 \Rightarrow 139000 \times 2$$

$$+ \quad I_{p_{toplam}} = 576000$$

$$\tau_x' = \frac{F_x}{\sum A} = \frac{4000}{2 \cdot 240} = 8,3$$

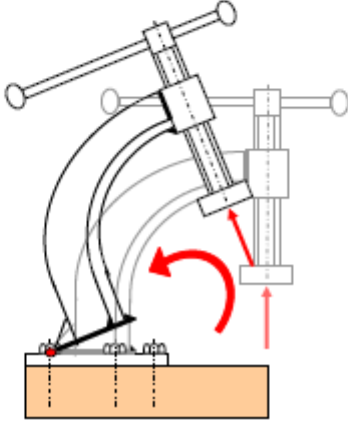
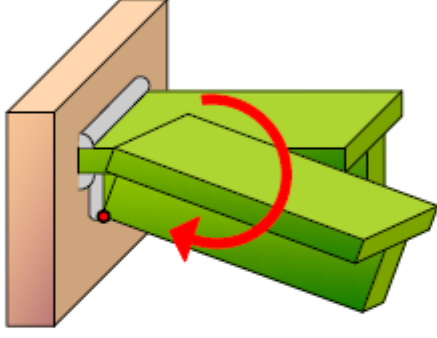
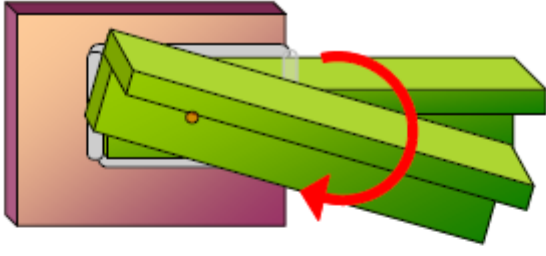
$$\tau_y' = \frac{F_y}{\sum A} = \frac{3400}{2 \cdot 240} = 7,1$$

$$\tau_{Ax}'' = \frac{M \cdot r_{Ay}}{I_p} = \frac{424000 \cdot 20}{576000} = 14,7$$

$$\tau_{Ay}'' = \frac{M \cdot r_{Ax}}{I_p} = \frac{424000 \cdot 40}{576000} = 29,4$$

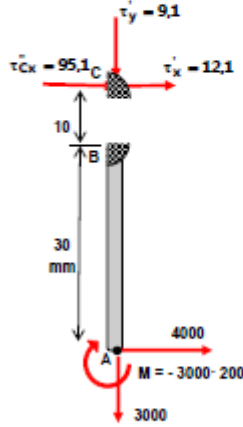
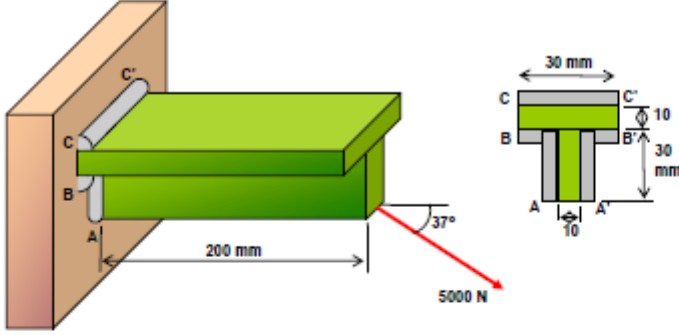
$$D\check{\tau}_{A_{mak}} = \sqrt{(8,3 + 14,7)^2 + (-7,1 - 29,4)^2} = 43,1 = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{200}{S}$$

$$S = 1,86 \text{ uygun}$$



Dr. M. Özkan

Örnek Problem: Boğaz kalınlığı $t_b = 3 \text{ mm}$ $\sigma_{ak} = 200 \text{ N/mm}^2$ kaynak emniyeti $S = ?$



$$\tau_x = \frac{F_x}{\sum A} \quad \tau_y = \frac{F_y}{\sum A} \quad \tau_x = \frac{M \cdot r_y}{I_p} \quad \tau_y = \frac{M \cdot r_x}{I_p}$$

Kaynak dikimleri:
AB : 30 mm x 2 adet
CC' : 30 mm x 1 adet
BB' : 20 mm x 1 adet
Toplam dikim alanı : 110 x 3

$$I_{pAB} = I_{op} + A \cdot d^2 = \frac{3 \cdot 30^3}{12} + 3 \cdot 30 \cdot 15^2 \Rightarrow 27000 \times 2$$

$$I_{pCC'} = 0 + 3 \cdot 30 \cdot 40^2 \Rightarrow 144000 \times 1$$

$$I_{pBB'} = 0 + 3 \cdot 20 \cdot 30^2 \Rightarrow 54000 \times 1$$

$$I_p = 27000 \times 2 + 144000 + 54000 = 252000$$

$$\tau_x = \frac{F_x}{\sum A} = \frac{4000}{3 \cdot 110} = 12.1$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{\sum A} = \frac{3000}{3 \cdot 110} = 9.1$$

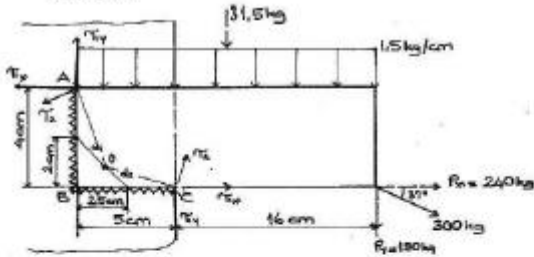
$$\tau_{Cx} = \frac{M \cdot r_{Cy}}{I_p} = \frac{(3000 \cdot 200) \cdot 40}{252000} = 95.1$$

$$\tau_y = \frac{M \cdot r_x}{I_p} = 0$$

$$\tau_{mak} = \sqrt{(12.1 + 95.1)^2 + 9.1^2} = 108 = 0.8 \cdot 0.5 \cdot \frac{200}{S}$$

$$S = 0.74 \text{ dayanmaz}$$

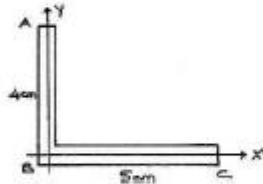
ÖRNEK:



$\sigma_{ak} = 2400 \text{ kg/cm}^2$
II. Kalite
 $t = 0.3 \text{ cm}$

EMK = ?

$$t_b = t \cdot \cos 45^\circ = 0.3 \cdot 0.7 = 0.21 \text{ cm}$$



$$\bar{x} = \frac{\sum xA}{\sum A} = \frac{2.5 \cdot 5.0.21 + 0}{4.0.21 + 5.0.21} = 1.38 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yA}{\sum A} = \frac{2.4 \cdot 0.21 + 0}{9.0.21} = 0.88 \text{ cm}$$

$$\sum M_o = 240 \cdot 0.88 - 180 \cdot (21 - 1.38) - 31.5 \cdot (10.5 - 1.38) = -3604 \text{ kg cm}$$

$$\tau_{ix} = \frac{240}{9t_b} = 127 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{iy} = \frac{180 + 31.5}{9t_b} = 112 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{M \cdot r}{J}$$

$$I_{xx} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{yy} = \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$J_o = I_{xx} + I_{yy}$$

Paralel eksenler teoremi; $J_A = J_o + A d^2$

$$J_{Ax} = \frac{t_w \cdot d^3}{12} + \frac{t_w \cdot d^3}{12} + 4 \cdot t_w \cdot \underbrace{\left(\sqrt{(2-0,88)^2 + 1,38^2} \right)^2}_{d_1^2} = 3,75 \text{ cm}^4$$

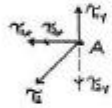
$$J_{Ay} = \frac{t_w \cdot b^3}{12} + \frac{b \cdot t_w^3}{12} + 5 \cdot t_w \cdot \underbrace{\left(\sqrt{(2,5-0,88)^2 + 0,88^2} \right)^2}_{d_2^2} = 4,33 \text{ cm}^4$$

$$\Sigma J = J_{Ax} + J_{Ay} = 3,75 + 4,33 = 8,08 \text{ cm}^4$$

A Noktası için;

$$T_{Ax} = \frac{3604 \cdot (4-0,88)}{8,08} = 1391 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{Ay} = \frac{3604 \cdot (1,38)^2}{8,08} = 615 \text{ kg/cm}^2$$



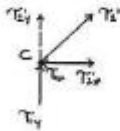
$$T_A = \sqrt{(T_{Ax} - T_{Ay})^2 + (T_{Ax} + T_{Ay})^2}$$

$$T_A = \sqrt{(112-615)^2 + (127+1391)^2} = 1599 \text{ kg/cm}^2$$

C Noktası için;

$$T_{Cx} = \frac{3604 \cdot 0,88}{8,08} = 392 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{Cy} = \frac{3604 \cdot (5-1,38)}{8,08} = 1614 \text{ kg/cm}^2$$



$$T_C = \sqrt{(T_{Cx} - T_{Cy})^2 + (T_{Cx} + T_{Cy})^2}$$

$$T_C = \sqrt{(127-392)^2 + (112+1614)^2} = 1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{max} = T_C = 1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$1746 = \frac{2400 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{SMK}$$

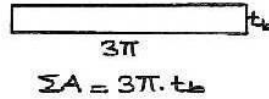
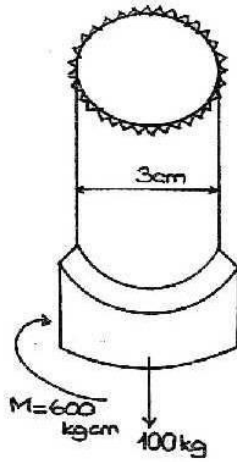
$$SMK = 0,6$$

Yorum: Kırılır, Çünkü SMK < 1 'dir.

ÖRNEK;

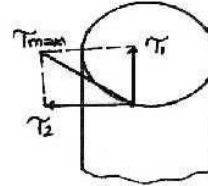
$\tau_{ak} = 3500 \text{ kg/cm}^2$
II. Kalite

EMK = 3
 $t_b = ?$



$$J = \int r^2 dA = r^2 \cdot 3\pi t_b$$

$$J = r^2 3\pi t_b = 1,5^2 \cdot 3\pi \cdot t_b = 21,2 t_b$$



$$\tau_1 = \frac{P}{A} = \frac{100}{3\pi \cdot t_b} = \frac{10,6}{t_b}$$

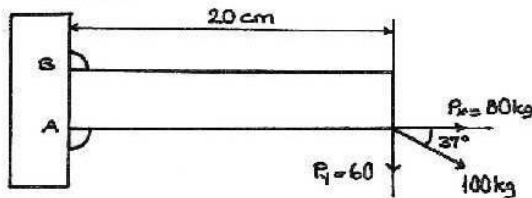
$$\tau_2 = \frac{Mr}{\Sigma J} = \frac{600 \cdot 1,5}{21,2 t_b} = \frac{42,4}{t_b}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{\left(\frac{10,6}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{42,4}{t_b}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{43,7}{t_b}$$

$$\frac{3500 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{3} = \frac{43,7}{t_b} \Rightarrow t_b = 0,09 \text{ cm}$$

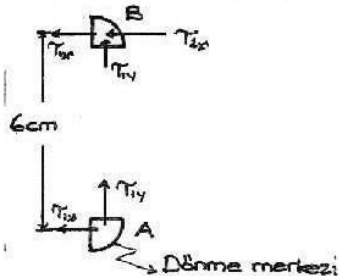
ÖRNEK;



$\tau_{ak} = 3500 \text{ kg/cm}^2$
II. Kalite

EMK = 3
 $t_b = ?$

$$\Sigma M_A = -60 \cdot 20 = -1200 \text{ kgcm}$$

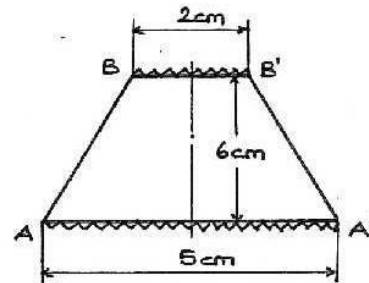


$$\Sigma J = J_A + J_B$$

$$J_A = \frac{t_b \cdot t_b^3}{12} + \frac{t_b \cdot t_b^3}{12} + 5 t_b \cdot 0^2 = 0$$

$$J_B = \frac{t_b \cdot t_b^3}{12} + \frac{t_b \cdot t_b^3}{12} + 2 t_b \cdot 6^2 = 72 t_b$$

$$\Sigma J = 72 t_b$$



$$\tau_{1x} = \frac{P}{A} = \frac{80}{5t_b + 2t_b} = \frac{11}{t_b}$$

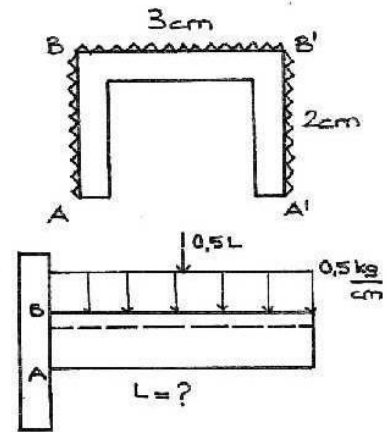
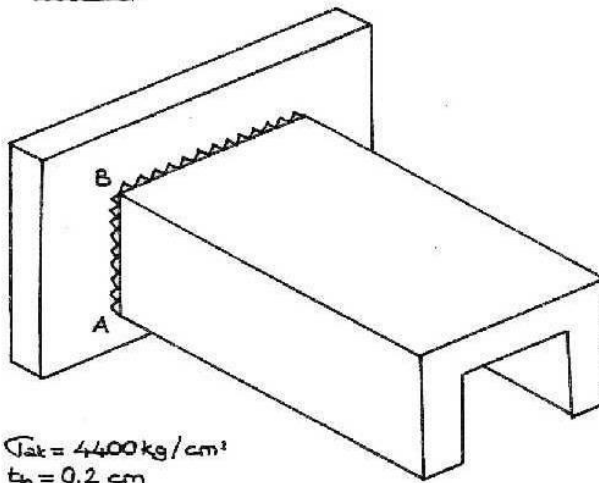
$$\tau_{2x} = \frac{Mr}{J} = \frac{1200 \cdot 6}{72t_b} = \frac{100}{t_b}$$

$$\tau_{1y} = \frac{P}{A} = \frac{60}{5t_b + 2t_b} = \frac{9}{t_b}$$

$$\tau_B = \sqrt{(\tau_{1x} + \tau_{2x})^2 + (\tau_{1y})^2} = \sqrt{\left(\frac{11}{t_b} + \frac{100}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{9}{t_b}\right)^2} = \frac{111,3}{t_b}$$

$$\frac{3500 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{3} = \frac{111,3}{t_b} \Rightarrow t_b = 0,238 \text{ cm}$$

ÖRNEK;



$$\sigma_{ak} = 4400 \text{ kg/cm}^2$$

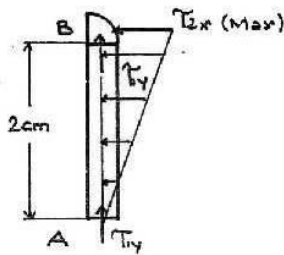
$$t_b = 0,2 \text{ cm}$$

II. Kalite

$$EMK = 3$$

$$L = ?$$

$$\sum M_A = -0,5 L \cdot \frac{L}{2} = -0,25 L^2$$



$$\sum J = 3 \cdot 0,2 \cdot 2^2 + 2 \left(\frac{0,2 \cdot 2^3}{12} + 2 \cdot 0,2 \cdot 1^2 \right) = 3,46 \text{ cm}^4$$

$$\tau_{1y} = \frac{P}{A} = \frac{0,5 L}{7 t_b} = 0,357 L$$

$$\tau_{2x} = \frac{Mr}{J} = \frac{0,25 L^2 \cdot 2}{3,46} = 0,144 L^2$$

$$\tau_B = \sqrt{\tau_{1y}^2 + \tau_{2x}^2} = \sqrt{(0,357 L)^2 + (0,144 L^2)^2} \Rightarrow \tau_B^2 = 0,02 L^4 + 0,14 L^2$$

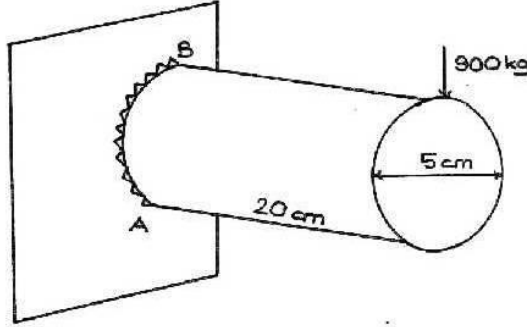
$$\left(\frac{4400 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{3} \right)^2 = 0,02 L^4 + 0,14 L^2 \Rightarrow 0,02 L^4 + 0,14 L^2 - 344177 = 0$$

$$* L^2 = P$$

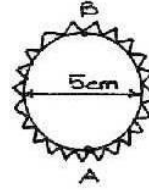
$$0,02 P^2 + 0,14 P - 344177 = 0 \Rightarrow P = 6219 \text{ cm}$$

$$L_{\max} = \sqrt{P} \Rightarrow L_{\max} = 78 \text{ cm}$$

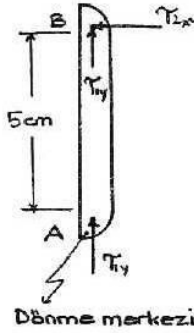
ÖRNEK;



I. Kalite $G_{ak} = 1900 \text{ kg/cm}^2$ $EMK = 1$
 $t_b = ?$



$$\Sigma M_A = -900 \cdot 20 = -18000 \text{ kgcm}$$



$$\Sigma J = \frac{t_b \cdot 5^3}{12} \cdot 2 + 5 \pi t_b \cdot 2 \cdot 5^2 = 119 t_b$$

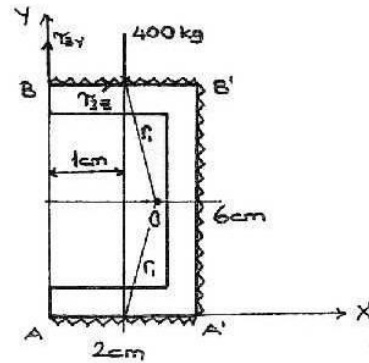
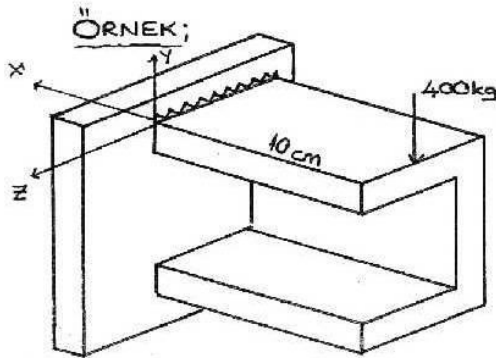
$$T_y = \frac{P}{A} = \frac{900}{\pi \cdot 5 \cdot t_b} = \frac{57}{t_b}$$

$$T_{2x} = \frac{M r}{J} = \frac{18000 \cdot 5}{119 t_b} = \frac{756,3}{t_b}$$

$$T_b = \sqrt{T_{1y}^2 + T_{2x}^2} = \sqrt{\left(\frac{57}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{756,3}{t_b}\right)^2} = \frac{758,4}{t_b}$$

$$\frac{1900 \cdot 0,5 \cdot 1}{1} = \frac{758,4}{t_b} \Rightarrow t_b = 0,79 \text{ cm}$$

Not; Bu sorunun dikkat edilmesi gereken en önemli kısmı J'nin hesabıdır. Buradaki incelik ise şudur; Sırtına alıp taşıdığı zaman simit hissedersin, döndüğün zaman ise izdüşüm dikdörtgenini döndürürsün.



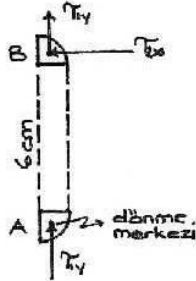
$$\tau_{ak} = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$EMK = 14$$

I. Kalite
 $t_b = ?$

Eğilme Hesabı;

$$\Sigma M_A = -400 \cdot 10 = -4000 \text{ kgcm}$$



$$\Sigma J = 0 + 2t_b \cdot 6^2 + \frac{t_b \cdot 6^3}{12} + t_b \cdot 6 \cdot 3^2 = 144 t_b$$

$$\tau_{1y} = \frac{P}{A} = \frac{400}{10 t_b} = \frac{40}{t_b}$$

$$\tau_{2x} = \frac{M r}{J} = \frac{4000 \cdot 6}{144 t_b} = \frac{166,6}{t_b}$$

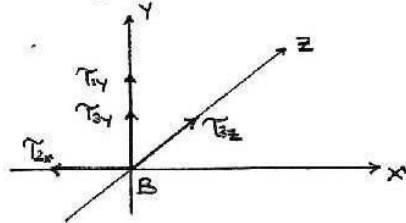
Not; İlk bakışta 400 kg, kesit düzleminde burulma momenti yaratmı. yacakmış gibi geliyor. Halbuki biz kaynak hesabı yaptığımıza göre kaynağın ağırlık merkezine göre düşünmemiz gerekir. (Kesit simetrik bile olsa) Bu nedenle kaynak belki üst-alt olarak simetrik, ama sağ-sol simetrisi bozulur. Ve büyük ihtimalle kaynak ağırlık merkezi 400 kg'lık kuvvetin sağın dan çıkacağından burulma oluşacaktır.

Burulma Hesabı;

$$\bar{x} = \frac{2t_b \cdot 1,2 + 6t_b \cdot 2}{10 t_b} = 1,6 \text{ cm}$$

$$\Sigma T_0 = 400 \cdot 0,6 = 240 \text{ kgcm}$$

$$\tau_3 = \frac{T \cdot r}{J}$$



$$\Sigma J = \left(\frac{t_b \cdot 2^3}{12} + t_b \cdot 2 \cdot (\sqrt{0,6^2 + 3^2})^2 \right) + \frac{t_b \cdot 6^3}{12} + 6 \cdot t_b \cdot 0,4^2$$

$$\Sigma J = 57 t_b$$

$$\tau_{3y} = \frac{240 \cdot 1,6}{57 t_b} = \frac{6,6}{t_b}$$

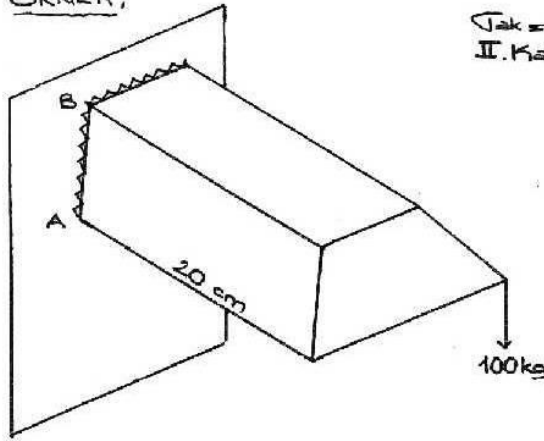
$$\tau_{3z} = \frac{240 \cdot 3}{57 t_b} = \frac{12,4}{t_b}$$

$$\tau_B = \sqrt{(\tau_{1y} + \tau_{3y})^2 + (\tau_{2x})^2 + (\tau_{3z})^2}$$

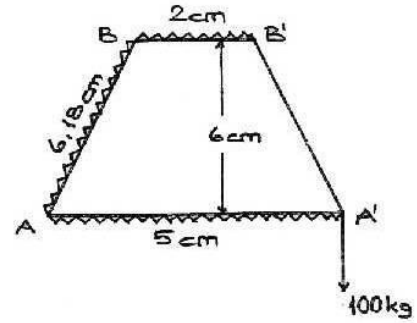
$$\tau_B = \sqrt{\left(\frac{40}{t_b} + \frac{6,6}{t_b} \right)^2 + \left(\frac{166,6}{t_b} \right)^2 + \left(\frac{12,4}{t_b} \right)^2} = \frac{173,4}{t_b}$$

$$\frac{4000 \cdot 0,5 \cdot 1}{14} = \frac{173,4}{t_b} \Rightarrow t_b = 0,34 \text{ cm}$$

ÖRNEK;

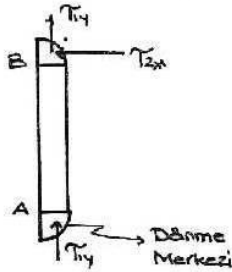


$\tau_{ak} = 3500 \text{ kg/cm}^2$ EMK = 3
II. Kalite $t_b = ?$



Eğilme Hesabı;

$$\Sigma M_A = -100 \cdot 20 = -2000 \text{ kgcm}$$



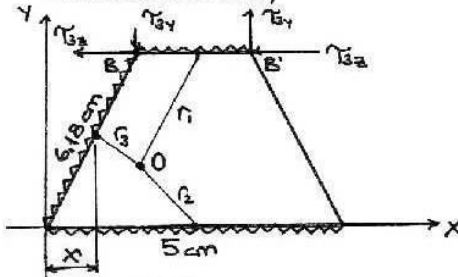
$$\Sigma J = J_A + J_B + J_{AB}$$

$$\Sigma J = t_b \cdot 2 \cdot 6^2 + \frac{t_b \cdot 6^3}{12} + t_b \cdot 6,18 \cdot 3^2 = 145,62 t_b$$

$$\tau_{1y} = \frac{P}{A} = \frac{100}{(2+5+6,18) \cdot t_b} = \frac{7,58}{t_b}$$

$$\tau_{2x} = \frac{M \cdot r}{J} = \frac{2000 \cdot 6}{145,62 t_b} = \frac{82,4}{t_b}$$

Burulma Hesabı;



$$\bar{x} = \frac{2t_b \cdot 2,5 + 5t_b \cdot 2,5 + 6,18t_b \cdot 0,74}{(2+5+6,18)t_b} = 1,67 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{2t_b \cdot 6 + 6,18t_b \cdot 3}{13,18t_b} = 2,31 \text{ cm}$$

$$\Sigma T_O = -100 \cdot (5 - 1,67) = -333 \text{ kgcm}$$

$$x = \sqrt{3,09^2 - 3^2} = 0,74 \text{ cm}$$

Yorum; B' noktası daha tehlikelidir.

$$r_1 = \sqrt{(2,5 - 1,67)^2 + (6 - 2,31)^2} = 3,78 \text{ cm}$$

$$r_2 = \sqrt{(2,5 - 1,67)^2 + (2,31)^2} = 2,45 \text{ cm}$$

$$r_3 = \sqrt{(3 - 2,31)^2 + (1,67 - 0,74)^2} = 1,158 \text{ cm}$$

$$I_{z'} = \frac{t_b \cdot 2^3}{12} + 2t_b \cdot 3,78^2 + \frac{t_b \cdot 5^3}{12} + 5t_b \cdot 2,45^2 + \frac{t_b \cdot 6,18^3}{12} + t_b \cdot 6,18 \cdot 1,45^2$$

$$I_{z'} = 87,62 t_b$$

$$\tau_{zy} = \frac{333 \cdot (8,147)}{87,62 t_b} = \frac{6,17}{t_b}$$

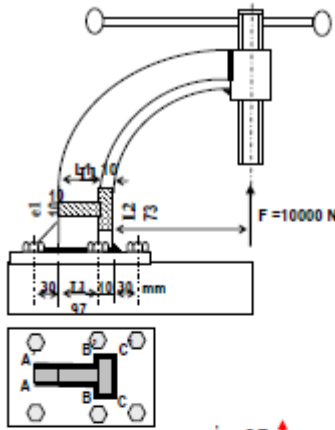
$$\tau_{zx} = \frac{333 \cdot (4,231)}{87,62 t_b} = \frac{12,58}{t_b}$$

$$\tau_{e'} = \sqrt{(\tau_{zy} + \tau_{zx})^2 + (\tau_{zy})^2 + (\tau_{zx})^2}$$

$$\tau_{e'} = \sqrt{\left(\frac{6,17}{t_b} + \frac{12,58}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{6,17}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{12,58}{t_b}\right)^2} = \frac{24,45}{t_b}$$

$$\frac{3500 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{3} = \frac{24,45}{t_b} \Rightarrow t_b = 0,183 \text{ cm}$$

Not: $t_b = 0,183 \text{ cm}$ 'den az kaynak yapılamaz.



Ödev Soru 2:

- $t_b = 9 \text{ mm}$ olduğuna göre kaynak emniyeti $S = ?$ (statik)
- kuvvetin $F/2 - F$ arasında değişmesi durumunda kaynak emniyeti $S = ?$ (dinamik)

$$\tau_x' = \frac{F_x}{\sum A}$$

$$\tau_y' = \frac{F_y}{\sum A}$$

$$\tau_x'' = \frac{M \cdot r_y}{I_p}$$

$$\tau_y'' = \frac{M \cdot r_x}{I_p}$$

Kaynak dikikleri:

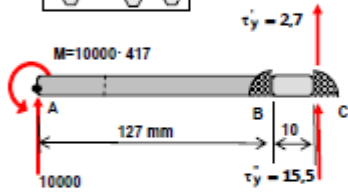
AB : 127 mm x 2 adet

BC : 10 mm x 2 adet

CC' : 73 mm x 1 adet

BB' : 63 mm x 1 adet

Toplam dikik alanı: 410 x 9



$$I_{pAB} = I_{op} + A \cdot d^2 = \frac{9 \cdot 127^3}{12} + 9 \cdot 127 \cdot 63,5^2 \Rightarrow 6145149 \times 2$$

$$I_{pBC} = \frac{9 \cdot 10^3}{12} + 9 \cdot 10 \cdot 132^2 \Rightarrow 1568910 \times 2$$

$$I_{pCC'} = 0 + 9 \cdot 73 \cdot 137^2 \Rightarrow 12331233 \times 1$$

$$I_{pBB'} = 0 + 9 \cdot 63 \cdot 127^2 \Rightarrow 9145143 \times 1$$

$$\frac{\tau}{I_p} = \frac{36904494}{36904494}$$

$$\tau_x' = \frac{F_x}{\sum A} = 0$$

$$\tau_y' = \frac{F_y}{\sum A} = \frac{10000}{9 \cdot 410} = 2,7$$

$$\tau_y'' = \frac{M \cdot r_x}{I_p} = 0$$

$$\tau_{Cy}'' = \frac{M \cdot r_{Cx}}{I_p} = \frac{(10000 \cdot 417) \cdot 137}{36904494} = 15,5$$

$$\tau_{makC} = 2,7 + 15,5 = 18,2 = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{330}{S}$$

→ Statik $S = 7,25$ fazla

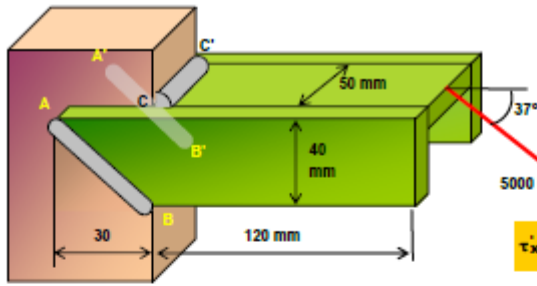
Dinamik mukavemet:

$$\tau_{mak} = 18,2 \quad \tau_{min} = \frac{18,2}{2} = 9,1 \quad \tau_o = \frac{18,2 + 9,1}{2} = 13,65 \quad \tau_g = \frac{18,2 - 9,1}{2} = 4,55$$

$$\sigma_{bak} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{ak} \cdot K_c}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b}\right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{ak} \cdot K_c}{\tau_d \cdot K_y \cdot K_b}\right)^2} \leq \sigma_{em \text{ statik}}$$

$$\sigma_{bak} = \sqrt{0 + 4 \cdot \left(13,65 + 4,55 \frac{0,5 \cdot 330 \cdot 1}{0,5 \cdot 0,5 \cdot 405 \cdot 0,88 \cdot 1}\right)^2} = 44,2 = 0,8 \cdot \frac{330}{S}$$

→ Dinamik $S = 5,98$ fazla



Örnek Vize sorusu:
Kaynak emniyeti : $S=?$
 $t_b=3$ mm (taşıyanmış)
AB dikikleri 2 adet,
CC' 1 adet: derinlik 50 mm
dönme merkezi:
ağırlık merkezi
 $\sigma_{ak} = 300 \text{ N/mm}^2$

$$\tau'_x = \frac{F_x}{\sum A}$$

$$\tau'_y = \frac{F_y}{\sum A}$$

$$\tau''_x = \frac{M \cdot r_y}{I_p}$$

$$\tau''_y = \frac{M \cdot r_x}{I_p}$$

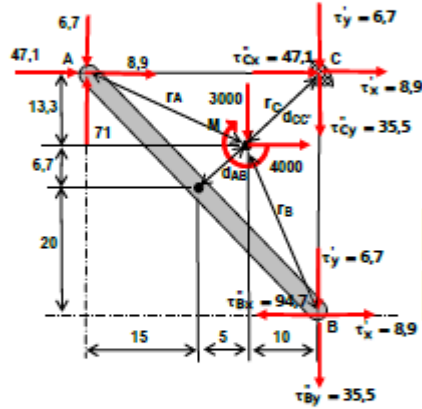
Kaynak dikikleri:

$$AB = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50$$

AB : 50 mm x 2 adet

CC' : 50 mm x 1 adet

Toplam dikik alanı : 150 x 3 mm



$$x_m = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{15 \cdot (50 \cdot 3 \cdot 2) + 30 \cdot (50 \cdot 3)}{150 \cdot 3} = 20,0$$

$$y_m = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{20 \cdot (50 \cdot 3 \cdot 2) + 40 \cdot (50 \cdot 3)}{150 \cdot 3} = 26,7$$

$$M = -3000 \cdot 130 - 4000 \cdot 13,3 = -443200$$

$$I_{pAB} = I_{op} + A \cdot d^2 = \frac{3 \cdot 50^3}{12} + 3 \cdot 50 \cdot (5^2 + 6,7^2) \Rightarrow 41733 \times 2$$

$$I_{pCC'} = 0 + 3 \cdot 50 \cdot (10^2 + 13,3^2) \Rightarrow 41533 \times 1$$

$$I_p = 125000$$

$$\tau'_x = \frac{F_x}{\sum A} = \frac{4000}{150 \cdot 3} = 8,9$$

$$\tau'_y = \frac{F_y}{\sum A} = \frac{3000}{150 \cdot 3} = 6,7$$

$$\tau''_{Cx} = \frac{M \cdot r_{Cy}}{I_p} = \frac{443200 \cdot 13,3}{125000} = 47,1 = \tau''_{Ax}$$

$$\tau''_{Ay} = \frac{M \cdot r_{Ax}}{I_p} = \frac{443200 \cdot 20}{125000} = 71$$

$$\tau''_{Cy} = \frac{M \cdot r_{Cx}}{I_p} = \frac{443200 \cdot 10}{125000} = 35,5 = \tau''_{By}$$

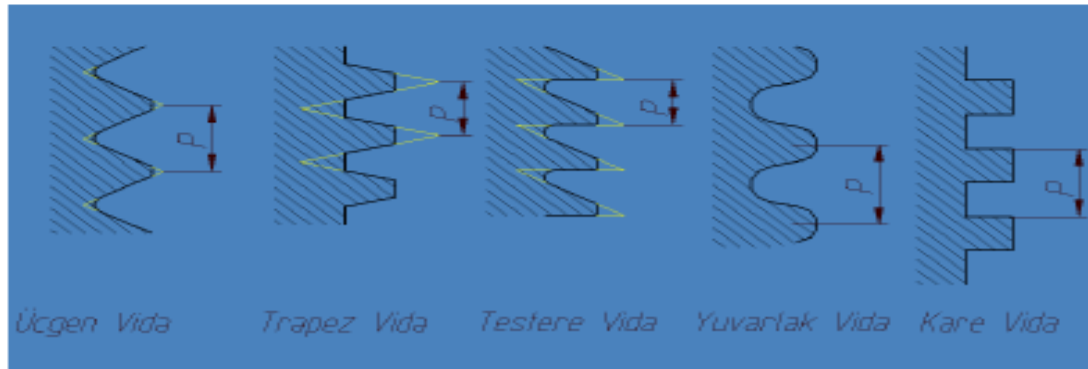
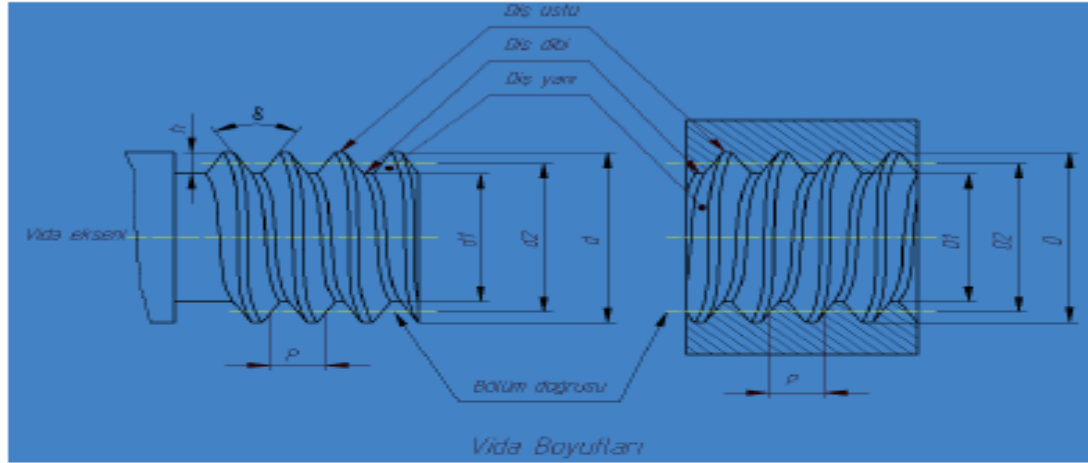
$$\tau''_{Bx} = \frac{M \cdot r_{By}}{I_p} = \frac{443200 \cdot 26,7}{125000} = 94,7$$

$$\tau_C = \sqrt{(8,9 + 47,1)^2 + (-6,7 - 35,5)^2} = 70,1$$

$$\tau_A = \sqrt{(8,9 + 47,1)^2 + (-6,7 + 71)^2} = 86,1$$

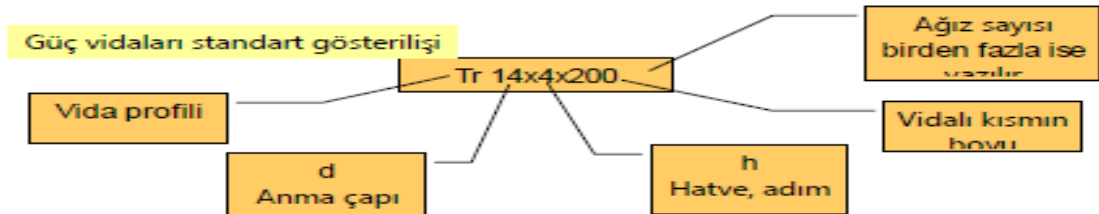
VIDALAR 8

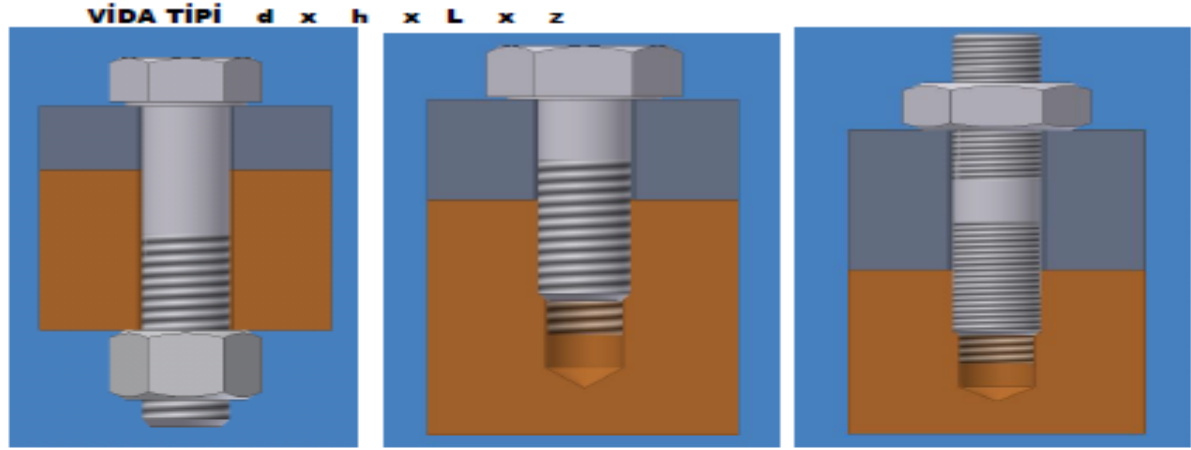
BÖLÜM 8



Güç Vidaları				
M	Tr	Ts	Yv	Kr
$t1=0,6134 \cdot h$ ISO	$t1=0,5 \cdot h$	$t1=0,87 \cdot h$	$t1=0,5 \cdot h$	Standart değil
$t1=0,6495 \cdot h$ DIN	$\alpha=30^\circ$	$\alpha \approx 0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$t1=0,5 \cdot d$
Wh				Sadece Kr için:
$t1=0,64 \cdot h$ ($\alpha=55^\circ$)				$t1=0,1 \cdot d$

Alt köşe başlı civata M16x60 6.6 TS 1021/1	Alt köşe somun M16 A 6 TS 1026/1
Adı	Adı
Anma ölçüsü	Anma ölçüsü
Anma boyu	Tipi
Malzeme	Malzeme
Standart	Standart
Bağlama Elemanlarının	Somunların Standart
Standart Gösterilişi	Gösterilişi





Civata-Somun Bağlantı şekilleri

Tablo: Çelik vida ve bazı somun malzemeleri için çeşitli hızlarda Pem değerleri

Vida malzeme	Çelik	çelik	çelik	çelik	çelik	çelik	çelik
Somun malzeme	Çelik	bronz	Dök.de mir	bronz	Dök.de mir	bronz	bronz
Çevresel hız	Düşük-	Düşük-	Düşük 2,4	Düşük 3 m/dak	orta 5-12	orta 5-12	Yüksek 15 m/dak
Pem N/mm ²	$\sigma_{ak}/4$	17,5 - 25	12,5 - 17,5	11 - 17,5	4 - 7	5,5 - 10	1 - 1,7

Dr. M. T. C.

Güç Vidası Verimi

$$\eta = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta + \rho)}$$

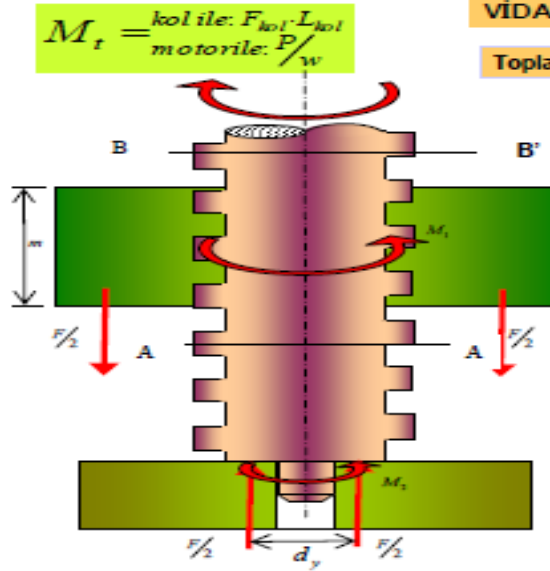
VİDA MUKAVEMETİ

Diş dişi çapı : $d_1 = d - 2 \cdot t_1$

Bölüm dairesi çapı $d_2 = \frac{d + d_1}{2}$

Gerilme çapı: $d_g = \frac{d_1 + d_2}{2}$

Toplam döndürme Momenti : $M_t = M_1 + M_2$



VİDA MUKAVEMETİ

Toplam döndürme Momenti : $M_t = M_1 + M_2$

$$M_1 = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\beta + \rho)$$

$$\tan \beta = \frac{h_v}{\pi \cdot d_2}$$

$$\tan \rho = \frac{\mu}{\cos(\phi/2)}$$

$$M_2 = \mu_y \cdot F \cdot \frac{d_2}{2}$$

Destek rulmanlı ise :

$$M_2 \approx 0$$

Çözme durumunda :

$$M_1 = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\beta - \rho)$$

Blokaj (kendiliğinden çözülme durumu) :

$$\beta < \rho$$

blokaj var (çözülme yok)

$$\beta > \rho$$

blokaj yok (çözülme var)

$$d_d = 1,1 \cdot d \quad d_y = \frac{(d_2 + d_d)}{2}$$

GÖVDE GERİLMELERİ

AA gerilmeleri :

$$\text{Çekme-basma : } \sigma_{AA} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot d_g^2 / 4} \quad \text{Burulma : } \tau_{AA} = \frac{M \cdot r}{I_p} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_g^3} \quad \text{Bileşke : } \sigma_b = \sqrt{\sigma_{AA}^2 + 4 \cdot \tau_{AA}^2}$$

Gerilme çapı: $d_g = \frac{d_1 + d_2}{2}$

BB gerilmeleri :

$$\text{Burulma : } \tau_{BB} = \frac{M \cdot r}{I_p} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_g^3}$$

DIŞ GERİLMELERİ :

$$\text{basma, yüzey basıncı : } \sigma_{diş} = \frac{F}{A} = \frac{4 \cdot h \cdot F}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot m} \leq p_{em}$$

aşınmadan dolayı hızla da bağlıdır

$$\text{Kayma : } \tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot m'}$$

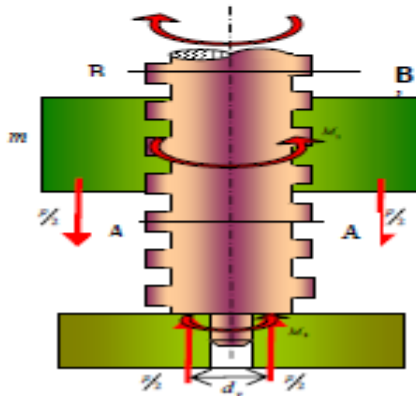
$$\text{Eğilme : } \sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{3 \cdot F}{t_1 \cdot m'}$$

$$m' = 0,5 \cdot m \text{ (Kv)}$$

$$m' \approx 0,6 \cdot m \text{ (Tr)}$$

$$m' \approx 0,8 \cdot m \text{ (Ts)}$$

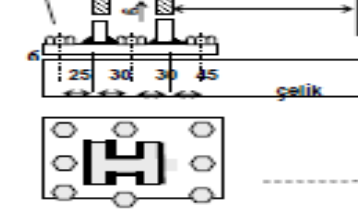
$$m' \approx 0,9 \cdot m \text{ (Tv, M, Wh)}$$



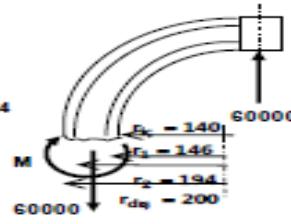
örnek problem

Gövde ve Güç Vidası Malzemeleri :
Tümü Çelik :
 $\sigma_k = 900 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{ak} = 750$
 $\mu = 0,19$

civatalar
M11x16
S.7



220 mm



Soru-1(15 puan) Gövde emniyeti=?

$$r_0 = \frac{A}{b_1 \ln \frac{r_1}{r_k} + b_2 \ln \frac{r_2}{r_1} + b_3 \ln \frac{r_{dq}}{r_2}}$$

$$r_0 = \frac{60000}{55 \ln \frac{146}{140} + 6 \ln \frac{194}{146} + 55 \ln \frac{200}{194}}$$

$$r_0 = 166,64 \quad r_m = 170 \quad e = r_m - r_0 = 3,36$$

$$\sigma_k = \frac{F}{A} + \frac{M(r_0 - r_k)}{A \cdot e \cdot r_k}$$

$$\sigma_k = \frac{60000}{948} + \frac{60000 \cdot 190 \cdot (166,64 - 140)}{948 \cdot 3,36 \cdot 140} = 744,3 - \frac{750}{S} \rightarrow S = 1,01 \text{ yeterli!}$$

Soru-2 (20 puan) $t_b = 6 \text{ mm}$ olduğuna göre kaynak

Dikişler:

BC→

48x2

AA→

55x1

mm

$$I_{pBC} = \frac{t_b \cdot L^3}{12} + A \cdot d^2 = \frac{6 \cdot 48^3}{12} + 6 \cdot 48 \cdot 30^2 = 314496 \text{ cm}^2$$

$$I_{pBB} = 0 + 6 \cdot 49 \cdot 6^2 = 10584 \text{ cm}^2$$

$$I_{pCC} = 0 + 6 \cdot 49 \cdot 54^2 = 857304 \text{ cm}^2$$

$$I_{pDD} = 0 + 6 \cdot 55 \cdot 60^2 = 1188000 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma I_p = 2684880$$

$$\tau_y' = \frac{F_y}{A} = \frac{60000}{304 \cdot 6} = 32,9 \quad \tau_{dy} = \frac{M r_{Dy}}{I_p} = \frac{60000 \cdot 220 \cdot 60}{2684880} = 295 \quad \tau_{max} = \tau_y' + \tau_{dy} = 327,9 = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{750}{S} \rightarrow S = 0,91 \text{ dayanmaz!}$$

Soru-3 (25 puan) Güç vidasında $F_{kol} = ?$ AA ve BB emniyetleri = ? dişlerde yüzey basıncı = ?

$$d = 22 \quad h = 4 \quad t_1 = 0,5 \cdot h = 2 \quad d_1 = d - 2 \cdot t_1 = 22 - 2 \cdot 2 = 18 \quad d_2 = \frac{d + d_1}{2} = \frac{22 + 18}{2} = 20 \quad d_3 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{18 + 20}{2} = 19$$

$$M_1 = \frac{F \cdot d_2}{2} \tan(\beta + \rho) = \frac{60000 \cdot 20}{2} \tan(3,64 + 11,12) = 158200 \quad \leftarrow \tan \beta = \frac{h}{\pi \cdot d_2} = \frac{4}{\pi \cdot 20} = 0,06366 \quad \beta = 3,64^\circ$$

$$\tan \rho = \frac{\mu}{\cos(\frac{\alpha}{2})} = \frac{0,19}{\cos(\frac{30}{2})} = 0,197 \quad \rho = 11,12^\circ$$

$$M_2 = 0 \text{ (rulmanlı)} \rightarrow M_1 = M_2 + M_3 = 158200 = F_{kol} \cdot L_{kol} \rightarrow F_{kol} = 158200 / 220 = 719 \text{ N}$$

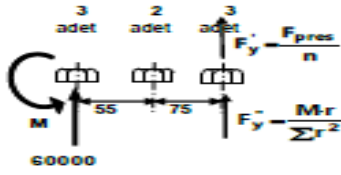
$$\sigma_{AA} = \frac{F}{\pi \cdot d_g^2 / 4} = \frac{60000}{\pi \cdot 19^2 / 4} = 212 \quad \tau_{AA} = 0 \rightarrow 212 = \frac{750}{S} \rightarrow S_{AA} = 3,54$$

Dr. M. T. Ö.

$$\tau_{ss} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_g^3} = \frac{16 \cdot 158200}{\pi \cdot 19^3} = 118 = 0,5 \cdot \frac{750}{S} \rightarrow S_{ss} = 3,19 \text{ fazla!}$$

$$\sigma_{dk} = \frac{4 \cdot h \cdot F}{\pi \cdot (d^2 - d_f^2) \cdot m} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 60000}{\pi \cdot (22^2 - 19^2) \cdot 60} = 318 \text{ N/mm}^2 \ll 750/4 \text{ düşük!}$$

Soru-4 (40 puan) a) civata bağlantı emniyeti =? M_t =? b) Pres kuvveti 0 ile 60000 arası ise



$$M11 \times 16 \rightarrow d = 11 \text{ mm} \quad d_g = 0,85 \cdot 11 = 9,35$$

$$5,7 \rightarrow \sigma_K = 5 \times 100 = 500 \quad \sigma_{sk} = 5 \times 7 \times 10 = 350$$

$$F_y = \frac{F_{pres}}{n} = \frac{60000}{8} = 7500$$

$$F_y = \frac{M \cdot r}{\sum r^2} = \frac{(60000 \cdot 245) \cdot 130}{2 \cdot 55^2 + 3 \cdot 130^2} = 33674 \quad P = F_y + F_y = 41174$$

$$D_s = 15 + d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30 = 15 + 11 + \frac{11}{2} \tan 30 = 19,7$$

$$C = \frac{1}{1 + \frac{k_e}{k_c}} \Rightarrow \frac{1}{1 + \frac{D_s^2 - d^2}{d^2}} = \frac{1}{1 + \frac{19,7^2 - 11^2}{11^2}} = 0,334$$

$$F_c = +F_{\delta n} + P \cdot C \quad F_e = -F_{\delta n} + P \cdot (1 - C)$$

$$\rightarrow 0 = -F_{\delta n} + 41174 (1 - 0,334) \rightarrow F_{\delta n} = 27422 \text{ N}$$

$$F_c = +27422 + 41174 \cdot 0,334 = 41174 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_c}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 41174}{\pi \cdot 9,35^2} = 600 = \frac{\sigma_{sk}}{S} = \frac{350}{S} \rightarrow S = 0,58 \text{ dayanmaz!}$$

Anahtar silindiri momenti $M_t = 0,2 \cdot F_{\delta n} \cdot d = 0,2 \cdot (27422 \cdot 0,58 \cdot 0,9) \cdot 11 = 31491 \text{ Nmm}$

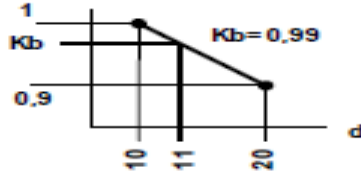
b- $P_{mak} = 41174 \rightarrow \sigma_{mak} = 600$

$$P_{min} = 0 \quad F_{cmin} = +F_{\delta n} + P_{min} \cdot C = 27422 + 0 \cdot 0,334 = 27422 \quad \sigma_{min} = \frac{4 \cdot F_{cmin}}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 27422}{\pi \cdot 9,35^2} = 400$$

$$\sigma_{bey} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{sk} \cdot K_t}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2 + 4 \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{sk} \cdot K_t}{\tau_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2} = \frac{600 + 400}{2} + \frac{600 - 400}{2} \cdot \frac{350 \cdot 13}{0,5 \cdot 500 \cdot 0,795 \cdot 0,99}$$

$$\sigma_{bey} = 731 = \frac{350}{S} \quad S = 0,48 \quad \text{dayanmaz!}$$

Dr. M. Tolga



Kb büyüklük faktörü
 $Kb=1 \quad d \leq 10$
 mm
 $Kb=0,9 \quad d=20$

Ky yüzey faktörü :
 $Ky=1$ polisaj
 $Ky=0,88$ taşlama

Torna ve soğuk işlem :
 $Ky=0,84 \quad \sigma=400$
 $Ky=0,75 \quad \sigma=600$
 $Ky=0,71 \quad \sigma=800$
 $Ky=0,67 \quad \sigma=1000$
 $Ky=0,65 \quad \sigma=1200$
 $Ky=0,63 \quad \sigma=1600 \text{ N/mm}^2$

ÖRNEK 2.Soru: Güç vidasında (Kr 28x280) $F_{kol}=?$ Otoblokaj kontrolü=?, AA, BB, burkulma emniyetleri=? dişlerde yüzey basıncı=? ; verim=? ($m=97$, $F=10000\text{N}$, $d_y=18$, $\mu=0,37$, $E=210000$, $\sigma_{ak}=330$, vida-somun mızemesi çelik)

Anma çapı : $d=28$
 Sadece Kr için diş yüksekliği : $t_1=0,1 \cdot d=0,1 \cdot 28=2,8 \text{ mm}$ (diğerlerinde t_1 standart adım "h" ile bulunur).
 diş dibi çapı : $d_1=d-2 \cdot t_1=28-2 \cdot 2,8=22,4 \text{ mm}$
 bölüm daireesi çapı : $d_2=\frac{d+d_1}{2}=\frac{28+22,4}{2}=25,2 \text{ mm}$
 gerilme çapı : $d_g=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{22,4+25,2}{2}=23,8 \text{ mm}$
 adım : $t_1=0,5 \cdot h \rightarrow h=2,8 / 0,5=5,6 \text{ mm}$

$$M_1 = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\beta + \rho) = \frac{10000 \cdot 25,2}{2} \cdot \tan(4,045 + 20,3) = 57010$$

$$\tan \beta = \frac{h}{\pi \cdot d_2} = \frac{5,6}{\pi \cdot 25,2} = 0,07074 \rightarrow \beta = 4,045^\circ \quad \tan \rho = \frac{\mu}{\cos(\frac{\alpha}{2})} = \frac{0,37}{\cos(0)} = 0,37 \quad \rho = 20,30^\circ$$

$$M_2 = \mu_y \cdot F \cdot \frac{d_y}{2} = 0,37 \cdot 10000 \cdot \frac{18}{2} = 33300$$

$$M_t = M_1 + M_2 = 57010 + 33300 = 90310 = F_{kol} \cdot \frac{L_{kol}}{370} \rightarrow F_{kol} = 90310 / 370 = 244 \text{ N}$$

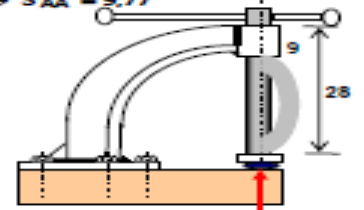
otoblokaj kontrolü : $\rho > ? \beta \rightarrow 20,3^\circ > 4,045^\circ$ otoblokajvar!

$$\text{AA gerilmeleri : } \sigma_{AA} = \frac{F}{\pi \cdot d_g^2 / 4} = \frac{10000}{\pi \cdot 23,8^2 / 4} = 22,5 \quad \tau_{AA} = \frac{16 \cdot M_2}{\pi \cdot d_g^3} = \frac{16 \cdot 33300}{\pi \cdot 23,8^3} = 12,6$$

$$\sigma_{b_{AA}} = \sqrt{\sigma_{AA}^2 + 4 \cdot \tau_{AA}^2} = \sqrt{22,5^2 + 4 \cdot 12,6^2} = 33,8 = \frac{330}{S} \rightarrow S_{AA} = 9,77$$

$$\text{BB gerilmeleri : } \tau_{BB} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_g^3} = \frac{16 \cdot 90310}{\pi \cdot 23,8^3} = 34,1 = 0,5 \cdot \frac{330}{S} \rightarrow S_{BB} = 4,84$$

$$\text{Burkulma : } \frac{L}{r_j} > ? \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_{ak}}}$$



$$L=280-97=183 \rightarrow \frac{183}{25,2/4} = 29,0 < \sqrt{\frac{2 \cdot 0,25 \cdot \pi^2 \cdot 210000}{330}} = 56,0$$

kısa çubuk
Johnson

$$F_{kr} = 10000 \cdot S = \sigma_{ak} \cdot A \left(1 - \sigma_{ak} \cdot \frac{\left(\frac{L}{r} \right)^2}{4 \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E} \right) = 330 \cdot \frac{\pi \cdot 25,2^2}{4} \left(1 - 330 \cdot \frac{(29)^2}{4 \cdot 0,25 \cdot \pi^2 \cdot 210000} \right)$$

dişte yüzey basıncı:

$$\rightarrow S_{burkulma} = 14,26$$

$$\sigma_{diş} = \frac{4 \cdot h \cdot F}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot m} = \frac{4 \cdot 5,6 \cdot 10000}{\pi \cdot (28^2 - 22,4^2) \cdot 97} = 2,6 \text{ N/mm}^2 < P_{em} = 330/4$$

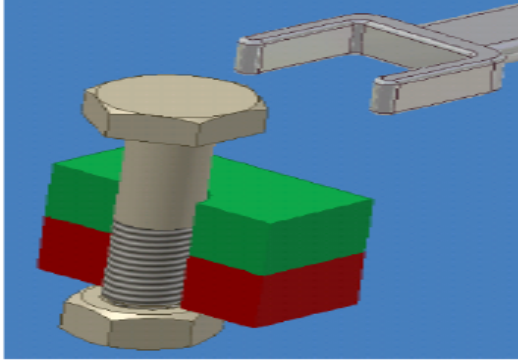
dişlerde çok düşük yüzey basıncı var, aşınmaz

$$\text{Güç vidası verimi : } \eta = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta + \rho)} = \frac{\tan(4,045)}{\tan(4,045 + 20,3)} = 0,156 \rightarrow \%15,6$$

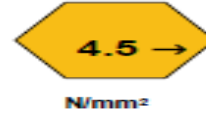
Bağlantı vidaları için anahtar sıkma momenti

$$M_t = M_1 + M_2$$

$$M_1 = M_2 = M_t / 2$$



$$M_t \approx 0,2 \cdot F_{on} \cdot d$$



$$M \times d \times (h) \times L$$

$$\sigma_K = 4 \times 100 = 400$$

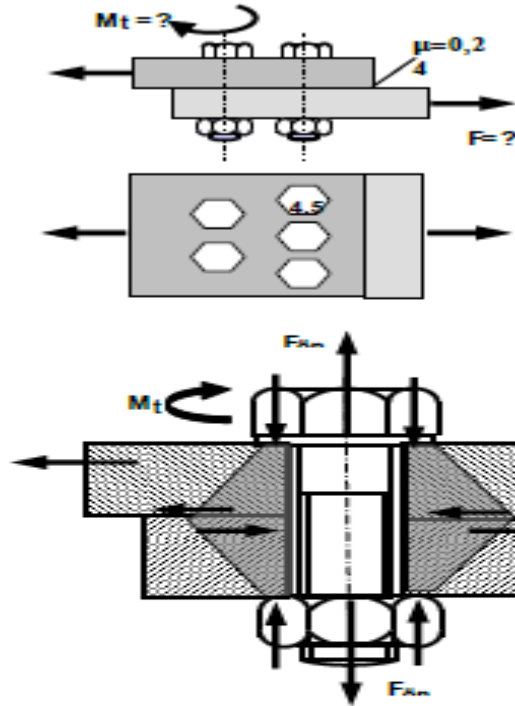
$$\sigma_{ak} = 4 \times 5 \times 10 = 200$$

$$d_1 \approx 0,8d \quad d_2 \approx 0,9d \quad d_g \approx 0,85d$$

sık çözülen civatalar **0,7σ_{ak}**

seyrek çözülenler **0,9σ_{ak}** gerilmesine kadar torkmetreli anahtar ile sıkılır

BAĞLANTILARDA KAYMA (KESME) KUVVETİ



Örnek 3: Şekildeki 5 adet M7 civata (4.5) ile bağlanan elemanlar 2 emniyetle kaymadan ne kadar F kuvveti tutabilir? Civatalara uygulanacak anahtar momenti Mt ne olmalıdır?

$$4.5 \rightarrow \sigma_K = 4 \times 100 = 400 \quad \sigma_{ak} = 4 \times 5 \times 10 = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$M7 \rightarrow d = 7 \text{ mm} \quad d_g = 0,85 \cdot 7 = 5,95 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_{ön}}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot F_{ön}}{\pi \cdot 5,95^2} = \frac{\sigma_{ak}}{5} = \frac{200}{5}$$

$$F_{ön} = 2780 \text{ N}$$

$$\text{Toplam sıkma kuvveti N:} \\ N = 5 \cdot 2780 = 13900$$

$$F = F_{sürtünme} = \mu N = 0,24 \cdot 13900 \\ F = 3336 \text{ N}$$

$$\text{Anahtar sıkma momenti (torkmetre):} \\ M_t = 0,2 \cdot F_{ön} \cdot d = 0,2 \cdot (F_{ön} \cdot 5 \cdot 0,9) \cdot d \\ M_t = 0,2 \cdot (2780 \cdot 5 \cdot 0,9) \cdot 7 = 7200 \text{ Nmm}$$

ÖN GERİLMELİ BAĞLANTILARDAKİ GENEL DENKLEMLER

$$M_{öN} = M_1 + M_2$$

$M_{öN}$: Civata vidası ile somun vidası arasındaki esas sıkma momenti (Anahtar momenti)

M_1 : Somun dişlerindeki moment

M_2 : Civata başı altı veya rondela altındaki sürtünme momenti

$$M_1 \approx M_2 = \frac{M_{öN}}{2}$$

$$M_{öN} = F_{öN} \left[\frac{d_2}{2} \tan(\beta + \rho') + \mu_0 \frac{d_0}{2} \right]$$

$$\tan \beta = \frac{h}{\pi d_2}$$

$$\tan \rho' = \frac{\mu}{\cos(\alpha/2)}$$

$$d_o = \frac{d_d + d_p}{2}$$

F_{ON} : Ön gerilme kuvveti (N)

M_{ON} : Esas sıkma momenti (Nmm)

d_d : Vida delik çapı (mm)

d_p : Cıvata başı altı çapı veya rondela çapı (mm)

d_o : Temas yüzeylerinin (somun ve cıvata ile bağlanacak parçaların) ortalama çapı (mm)

μ : Vida dişlerindeki sürtünme katsayısı (kare profilli vidalar için μ , üçgen ve trapez profilli vidalar için μ_t olarak gösterilmektedir)

μ_o : Temas yüzeyindeki sürtünme katsayısı

β : Vida eğim açısı (derece)

ρ : Sürtünme açısı (derece)

α : Vida diş profil açısı (derece)

$$M_{ON} = K F_{ON} d$$

$$M_{ON} = 0,2 F_{ON} d$$

Cıvata Durumu	K
Plakasız bağlantılar	0,30
Çinko plakalar	0,20
Yağlanmış bağlantılar	0,18
Kadmiyum plakalar	0,16
Eğilmeli bağlantılarda	0,12
Somunlu Eğilmeli bağlantılarda	0,09
Genel	0,2

$$F_{sıkma} = F_{sürtünme} = \mu N \quad [3.9]$$

$$N = n F_{ON}$$

$$F_c = F_{ON} + P \frac{k_c}{k_c + k_e} = F_{ON} + P C \quad [3.11]$$

$$F_e = F_{ON} + P \frac{k_e}{k_c + k_e} = F_{ON} + P(1 - C) \quad [3.12]$$

Bu eşitliklerde;

F_{ON} : Ön gerilme kuvveti (N)

P : Eksenel dış yük (N)

F_c : Cıvataya gelen kuvvet (N)

Dr. M. ...

F_e : Elemanları sıkıan kuvvet (N)

k_e : Civata yay sabiti (N/mm)

k_a : Eleman yay sabiti (N/mm)

C: Bağlantının direngenliği (N/mm)

$$k_e = \frac{E_c A_c}{L_c} \quad [3.13]$$

$$k_a = \frac{E_a A_a}{L_a} \quad [3.14]$$

burada;

E_c : Civata malzemesi elastikiyet modülü (N/mm²)

E_a : Bağlanan elemanların elastikiyet modülü (N/mm²)

A_a : Bağlanan elemanlarda gerilmenin yayıldığı alan,

A_c : Civatada gerilmenin yayıldığı alan (mm²)

L_a : Bağlanan elemanların kalınlığı (mm)

L_c : Civatanın bağlantı içinde kalan boyu (mm)

$$\frac{1}{k_{et}} = \frac{1}{k_{e1}} + \frac{1}{k_{e2}} \quad [3.15]$$

veya

$$k_{et} = \frac{k_{e1} k_{e2}}{k_{e1} + k_{e2}}$$
$$\frac{1}{k_{et}} = \frac{1}{k_{e1}} + \frac{1}{k_{e2}} + \frac{1}{k_{e3}} + \dots + \frac{1}{k_{en}}$$

$\theta = 30^\circ$ alındığında, eleman direngenliğini;

$$k_e = \frac{0,577 \pi E d}{\ln \frac{(1,15 L + d_p - d)(d_p + d)}{(1,15 L + d_p + d)(d_p - d)}}$$

$$A_p = \pi^4 (D_o^2 - d_s^2) \quad [3.24]$$

$$D_o = 1,5 d + k_0 \quad (k_0/2) \quad [3.25]$$

Bu eşitliklerde;

A_p : Sıkılan parçaların elastik deformasyona katılan kesit alanı (mm²)

D_o : Silindirin dış çapı (mm)

l_p : Sıkılan parçaların kalınlığı (mm)

k_0 : Malzeme katsayısı

(çelik için = 0,2, dökme demir = 0,25, alüminyum alaşımları = 0,3)

d_d : Delik çapı (İşlenmiş delik için 1,14.d, dökümden elde edilmiş delik için 1,25.d önerilmektedir.) olarak ifade edilmektedir (2).

Civata direngenliğinin elde edilmesinde ;

$$\frac{1}{k_c} = \frac{4}{\pi E} \left[\frac{I_{c1} + 0,4.d_{c1}}{d_{c1}^2} + \frac{I_{c2} + 0,4.d_{c2}}{d_{c2}^2} \right] \quad [3.27]$$

$$d_{c2} = d_{c1} - 1,25.h \quad [3.28]$$

eşitliklerinden faydalanılır (13).

Bu eşitliklerde;

l_{c1} : Civatanın vida açılmamış boyu (mm)

l_{c2} : Civatanın vida açılmış boyu (mm)

d_{c1} : Civatanın vida açılmamış boydaki çapı (mm)

d_{c2} : Civatanın vida açılmış boydaki çapı (mm)

h : Vida adımı

olarak dikkate alınır (29) .

Civata dayanım hesaplamalarında dikkate alınan çekme gerilmesi;

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi d_s^2}{4}} \quad [3.29]$$

olarak yazılırsa; burada vida gerilme çapı

$$d_s = \frac{d_2 + d_1}{2} \quad [3.30]$$

olarak dikkate alınır.

Bu eşitliklerde;

d_1 : Diş dibi çapı

d_2 : Ortalama çap

d_g : Gerilme çapı

Burulma gerilmesi:

$$M_{DN} = 0.2F_{DN}d \quad [3.31]$$

$$\tau = \frac{16(M_{DN} / 2)}{\pi d_s^3} \quad [3.32]$$

Dış yükleme sebebiyle oluşan değişken yükleme durumlarında minimum ve maksimum gerilme;

$$\sigma_{mak} = \frac{F_{cmak}}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \quad [3.34]$$

$$\sigma_{min} = \frac{F_{cmin}}{\pi d_1^2} \quad [3.35]$$

denklemleri ile hesap edilir. Tam değişken yükleme durumunda ortalama gerilme ve gerilme geniğli miktarları da

$$\sigma_o = \frac{\sigma_{mak} + \sigma_{min}}{2} \quad [3.36]$$

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{mak} - \sigma_{min}}{2} \quad [3.37]$$

$$\sigma_D = 0,5 \sigma_K \quad [3.38]$$

denklemleri ile belirlenir.

Tam değişken yükleme Sooderberg eşitiliğinden (1);

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{AK} k_y}{\sigma_D k_y k_b} \right)^2 + 3 \tau^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{S} \quad [3.39]$$

Bu eşitiliklerde;

σ_{mak} : Maksimum gerilme (N/mm²)

σ_{min} : Minimum gerilme (N/mm²)

σ_o : Ortalama gerilme (N/mm²)

σ_D : Tam değişken zorlanmada standart deney çubuğunun sürekli mukavemet sınırı (N/mm²)

k_y : entik faktörü

k_b : Büyüklük faktörü

k_y : Yüzey faktörü

olarak hesap edilmektedir.

Civatalar, birleştirme esnasında tamamen sıkılmalıdır. Shigley'e göre ön gerilme momenti (29);

$$M'_{\phi N} = S K F_{\phi N} d \quad [3.42]$$

olarak önerilmektedir.

$M'_{\phi N}$: n sıkma momenti

S : Civatalı bir bağlantının, bağlantı durumuna göre yükleme emniyeti

Kalıcı olmayan bağlantılarda;

$$S = 0,75 \sigma_{AK} \quad [3.40]$$

Kalıcı bağlantılarda;

$$S = 0,9 \sigma_{AK} \quad [3.41]$$

S : Yükleme emniyeti

σ_{AK} : Malzeme akma mukavemeti (N/mm²)

Dr. M.

Yapılan analizlerde basıncın uygulandığı yöndeki yer değiştirmeler dikkate alınarak;

$$p = F/A \quad [3.42]$$

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{F \cdot L}{E \cdot A}} = \frac{P}{A} \cdot \frac{E \cdot A}{P \cdot L} = \frac{E \cdot A}{L} \quad [3.43]$$

p : Yüzeye uygulanan basınç (N/mm²)

A : Alan (mm²)

δ : Yer değiştirme miktarı (mm)

L : Birleştirilen elemanların kalınlıkları (mm)

E : Elastikiyet modülü (N/mm²)

k : Eleman direngenliği (N/mm)

PROBLEMLERDEKİ FORMÜLLER

$$4.5 \rightarrow \sigma_K = 4 \times 100 = 400 \quad \sigma_{ak} = 4 \times 5 \times 10 = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$d_1 = 0,8 \cdot d$$

$$d_2 = 0,9 \cdot d$$

$$d_0 = 0,85 \cdot d$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_{\text{ön}}}{\pi d_s^2} = \frac{\sigma_{ak}}{S}$$

Toplam sıkma kuvveti N :

$$N = n \cdot F_{\text{ön}}$$

$$F = F_{\text{aürtünme}} = \mu N$$

Anahtar sıkma momenti (torkmetre):

$$M_t = 0,2 \cdot F_{\text{ön}} \cdot d = 0,2 \cdot (F_{\text{ön}} \cdot S \cdot 0,9) \cdot d$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kapağa kaldırdı} \\ \text{toplamdı yük} \end{array} \right\} P_t = P \cdot A = \rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{bir civataya} \\ \text{gelen di} \text{ yük} \end{array} \right\} P = \frac{P_t}{n}$$

$$F_c = +F_{\text{ön}} + P \cdot C \quad F_e = -F_{\text{ön}} + P \cdot (1-C)$$

Bağlanan malzemeler ve civata aynı malzeme ise

$$C = \frac{1}{1 + \frac{D_s^2 - d_d^2}{d^2}}$$

$$D_s = 1,5 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30$$

Dr. M.

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_c}{\pi d_g^2} = \frac{\sigma_{ak}}{S} \quad \sigma_{\min} = \frac{4 \cdot F_{\text{ön}}}{\pi d_g^2}$$

$$\sigma_{\text{bey}} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{ak} \cdot K_\zeta}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2 + 4 \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{ak} \cdot K_\zeta}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2}$$

0

MOMENT TAŞIYAN CİVATALI BAĞLANTILAR

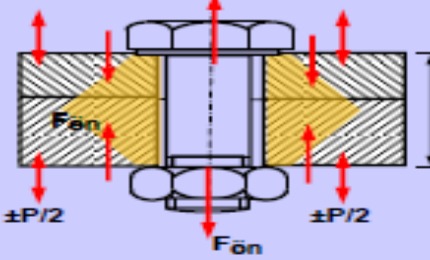
$$F_y' = \frac{F_{\text{pmo}}}{n} \quad F_y' = \frac{M \cdot r}{\sum r^2}$$

$$F_c = +F_{\text{ön}} + P \cdot C \quad F_e = -F_{\text{ön}} + P \cdot (1-C)$$

$$C = \frac{1}{1 + k_e / k_c} \quad \text{elemanlar yay sabiti } k_e = \frac{\pi (D_s^2 - d_d^2) E_e}{4 L_e} \quad \text{civata yay sabiti } k_c = \frac{\pi \frac{d^2}{4} E_c}{L}$$

$$D_s = 1,5 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30$$

Eksenel Dış Yüklü Cıvatalar



Civata kuvveti $F_c > 0$ olmalı : $F_c = +F_{\text{ön}} + P \cdot C$
 Eleman sıkma kuvveti $F_e < 0$ olmalı : $F_e = -F_{\text{ön}} + P \cdot (1-C)$

Burada $C = \frac{k_c}{k_c + k_e} = \frac{1}{1 + k_e / k_c}$

civata yay sabiti $k_c = \frac{A_c E_c}{L_c} \approx \frac{\pi \frac{d^2}{4} E_c}{L}$

elemanlar yay sabiti:

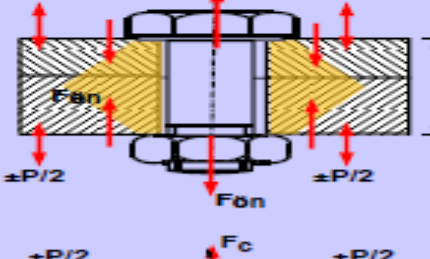
$$k_e = \frac{A_e E_e}{L_e}$$

$$k_e = \frac{\pi (D_s^2 - d_d^2) E_e}{4 L_e}$$

Yeterli $F_{\text{ön}}$
 . yoksa $\rightarrow F_e$ yok $\rightarrow F_e > 0$

Yeterli $F_{\text{ön}}$
 . yoksa $\rightarrow F_c$ yok $\rightarrow F_c < 0$

Eksenel Dış Yüklü Cıvatalar



Civata kuvveti $F_c > 0$ olmalı : $F_c = +F_{\text{ön}} + P \cdot C$
 Eleman sıkma kuvveti $F_e < 0$ olmalı : $F_e = -F_{\text{ön}} + P \cdot (1-C)$

Burada $C = \frac{k_c}{k_c + k_e} = \frac{1}{1 + k_e / k_c}$

civata yay sabiti $k_c = \frac{A_c E_c}{L_c} \approx \frac{\pi \frac{d^2}{4} E_c}{L}$

elemanlar yay sabiti:

$$k_e = \frac{A_e E_e}{L_e}$$

$$k_e = \frac{\pi (D_s^2 - d_d^2) E_e}{4 L_e}$$

Yeterli $F_{\text{ön}}$
 . yoksa $\rightarrow F_e$ yok $\rightarrow F_e > 0$

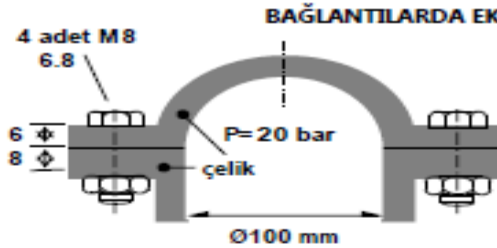
Yeterli $F_{\text{ön}}$
 . yoksa $\rightarrow F_c$ yok $\rightarrow F_c < 0$

Eksenel Dış Yüklü Civatalarda "C"

$C = \frac{k_c}{k_c + k_e} = \frac{1}{1 + k_e/k_c}$
 civata yay sabiti $k_c = \frac{A_c E_c}{L_c} \approx \frac{\pi d^2 E_c}{4 L}$
 elemanlar yay sabiti:
 $k_e = \frac{A_e E_e}{L_e} \approx \frac{\pi (D_s^2 - d_d^2) E_e}{4 L_e}$

bağlanan elemanlar aynı malzeme ise : $L_e = L$
 bağlanan elemanlar farklı malzeme ise : $\frac{1}{k_{et}} = \frac{1}{k_{e1}} + \frac{1}{k_{e2}} + \dots$
 bağlanan malzemeler ve civata aynı malzeme ise : $C = \frac{1}{1 + \frac{D_s^2 - d_d^2}{d^2}}$

Tanımlanan çaplar :
 civata dışüstü çapı : d
 delik çapı : $d_d \approx 11 \cdot d$ veya $d_d \approx 12 \cdot d$ (döküm delik)
 başaltı çapı : $d_b = 15 \cdot d$ standart veya $d_b = \text{pul, rondela dış çapı}$
 ortalama silindir dış çapı : $D_s = d_b + \frac{L}{2} \cdot \tan \theta \Rightarrow D_s = 15 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30$



Örnek 4:

- Şekildeki civataların bağlantı emniyetini ve anahtar sıkma momentini bulunuz ; $S=?$, $M_t=?$
- Basıncın 0 ile 20 bar arasında değişmesi durumunda emniyeti bulunuz ; dinamik $S=?$ ($K_f=1,3$)

$$6.8 \rightarrow \sigma_K = 6 \times 100 = 600$$

$$\sigma_{ak} = 6 \times 8 \times 10 = 480 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Basınç : } p = \frac{20 \text{ bar} \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000^2 \text{ mm}^2 / \text{m}^2} = 2 \text{ N/mm}^2$$

$$M8 \rightarrow d = 8 \text{ mm} \quad d_g = 0,85 \cdot 8 = 6,8 \text{ mm}$$

$$\text{Kapağı kaldıran toplam dış yük : } P_t = p \cdot A = 2 \cdot \pi \frac{100^2}{4} = 15707 \text{ N} \rightarrow \text{bir civataya gelen dış yük : } P = \frac{15707}{4} = 3927 \text{ N}$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C \quad F_e = -F_{ön} + P \cdot (1 - C)$$

Bağlanan malzemeler ve civata aynı malzeme ise

$$C = \frac{1}{1 + \frac{D_s^2 - d_d^2}{d^2}} = \frac{1}{1 + \frac{16,04^2 - 8,8^2}{8^2}} = 0,262$$

$$D_s = 15 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30 = 15 \cdot 8 + \frac{14}{2} \cdot \tan 30 = 16,04 \text{ mm} \quad d_d = 11 \cdot d = 11 \cdot 8 = 8,8 \text{ mm}$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C \quad F_e = -F_{ön} + P \cdot (1 - C)$$

$$\rightarrow 0 = -F_{ön} + 3927 \cdot (1 - 0,262) \rightarrow F_{ön} = 2898 \text{ N}$$

$$F_c = +2898 + 3927 \cdot 0,262 = 3927 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_c}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 3927}{\pi \cdot 6,8^2} = 108 = \frac{\sigma_{ak}}{S} = \frac{480}{S} \rightarrow S = 4,44 \text{ fazla!}$$

Anahtar sıkma moment (torkmetre):

$$M_t = 0,2 \cdot F \cdot d = 0,2 \cdot (F_{ön} \cdot S \cdot 0,9) \cdot d \quad M_t = 0,2 \cdot (2898 \cdot 4,44 \cdot 0,9) \cdot 8 = 18529 \text{ Nmm}$$

$$- P_{mak} = 3927 ; P_{min} = 0 \text{ ise } S = ? \rightarrow \sigma_{mak} = 108$$

$$\sigma_{min} = \frac{4 \cdot F_{ön}}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 2898}{\pi \cdot 6,8^2} = 80$$

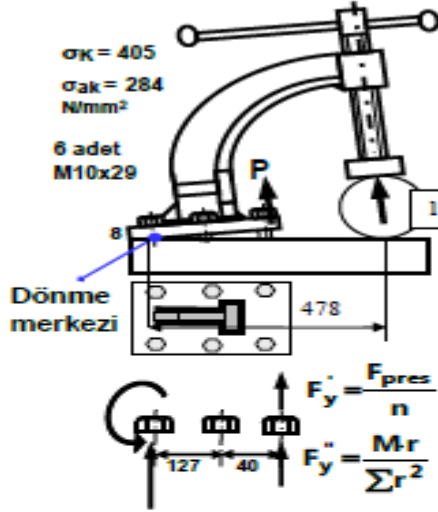
$$\sigma_{bes} = \sqrt{\left(\sigma_o + \sigma_g \frac{\sigma_{ak} \cdot K_f}{\sigma_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2 + 4 \left(\tau_o + \tau_g \frac{\tau_{ak} \cdot K_f}{\tau_d \cdot K_y \cdot K_b} \right)^2}$$

0

$$\rightarrow \sigma_o = \frac{108 + 80}{2} = 94 \quad \sigma_g = \frac{108 - 80}{2} = 14$$

$$\sigma_{b_{eq}} = \sqrt{\left(94 + 14 \frac{480 \cdot 13}{0,5 \cdot 600 \cdot 0,75 \cdot 1}\right)^2 + 0} = 133 = \frac{480}{S} \quad S = 3,6$$

ÖRNEK 5



$$M10 \times 29 \rightarrow d = 10 \text{ mm} \quad d_c = 0,85 \cdot 10 = 8,5 \text{ mm}$$

$$F_y' = \frac{F_{pres}}{n} = \frac{10000}{6} = 1667$$

$$F_y'' = \frac{Mr}{\sum r^2} = \frac{(10000 \cdot 478) \cdot 167}{2 \cdot 127^2 + 2 \cdot 167^2} = 9067$$

$$P = F_y' + F_y'' = 10734$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C \quad F_e = -F_{ön} + P \cdot (1 - C)$$

$$C = \frac{1}{1 + k_e / k_c} \quad \text{divata yay sabiti } k_c = \frac{\pi d^2 E_c}{4 L}$$

$$\text{elemanlar yay sabiti } k_e = \frac{\pi (D_s^2 - d_d^2) E_e}{4 L_e}$$

$$k_c = \frac{\pi \frac{10^2}{4} 210000}{18,5} = 891532$$

$$D_s = 1,5 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30 = 1,5 \cdot 10 + \frac{18,5}{2} \cdot \tan 30 = 20,34$$

$$k_{e1} = \frac{\pi \frac{(20,34^2 - 11^2)}{4} 210000}{8} = 6035232$$

$$k_{e2} = \frac{\pi \frac{(20,34^2 - 11^2)}{4} 106000}{10,5} = 2321032$$

$$\frac{1}{k_{et}} = \frac{1}{k_{e1}} + \frac{1}{k_{e2}} = \frac{1}{6035232} + \frac{1}{2321032} \rightarrow k_{et} = 1676343$$

$$C = \frac{1}{1 + k_e / k_c} = \frac{1}{1 + \frac{1676343}{891532}} = 0,347$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C \quad F_e = -F_{ön} + P \cdot (1 - C)$$

$$\rightarrow 0 = -F_{ön} + 10734 (1 - 0,347) \rightarrow F_{ön} = 7009 \text{ N}$$

$$F_c = +7009 + 10734 \cdot 0,347 = 10734 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_c}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 10734}{\pi \cdot 8,5^2} = 189 = \frac{\sigma_{ak}}{S} = \frac{284}{S} \rightarrow S = 1,50$$

$$\text{Anahtar sıkma momenti } M_t = 0,2 \cdot F_{ön} \cdot d = 0,2 \cdot (7009 \cdot 1,50 \cdot 0,9) \cdot 10 = 18924 \text{ Nmm}$$

$$- P_{mak} = 10734 \rightarrow \sigma_{mak} = 189 \quad P_{min} = P/2 = 10734/2 = 5367$$

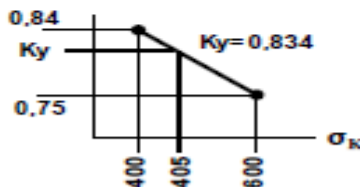
$$F_{cmin} = +F_{ön} + P_{min} \cdot C = 7009 + 5367 \cdot 0,347 = 8871$$

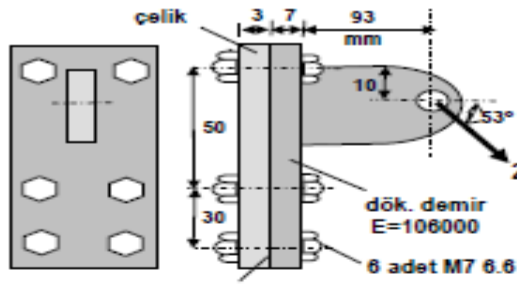
$$\sigma_{min} = \frac{4 \cdot F_{cmin}}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 8871}{\pi \cdot 8,5^2} = 156$$

$$\sigma_o = \frac{189 + 156}{2} = 173 \quad \sigma_g = \frac{189 - 156}{2} = 16,4$$

$$\sigma_{b_{eq}} = \sqrt{\left(173 + 16,4 \frac{284 \cdot 13}{0,5 \cdot 405 \cdot 0,834 \cdot 1}\right)^2 + 0}$$

$$\sigma_{b_{eq}} = 208 = \frac{284}{S} \quad S = 1,39 \text{ yetersiz!}$$





ÖRNEK 5

a- civata emniyeti, anahtar momenti=?
b- F= 200 - 2000 arası titreşirse emniyet=?

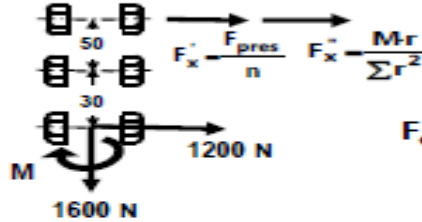
$$F'_x = \frac{F_x}{n} = \frac{1200}{6} = 200$$

$$F''_x = \frac{M \cdot r}{\sum r^2} = \frac{244000 \cdot 80}{2 \cdot 30^2 + 2 \cdot 80^2} = 1337$$

$$P = F'_y + F''_y = 1537$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C$$

$$F_e = -F_{ön} + P \cdot (1-C)$$



$$k_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot E_c = \frac{\pi \cdot 7^2}{4} \cdot 210000 = 808 \cdot 10^3$$

$$C = \frac{1}{1 + k_e / k_c}$$

$$D_s = 1,5 \cdot d + \frac{L}{2} \cdot \tan 30 = 1,5 \cdot 7 + \frac{10}{2} \cdot \tan 30 = 13,4 \text{ mm}$$

$$k_{e\varsigma} = \frac{\pi \cdot (13,4^2 - 7,7^2)}{4} \cdot 210000 = 6612 \cdot 10^3 \quad k_{ed} = \frac{\pi \cdot (13,4^2 - 7,7^2)}{4} \cdot 106000 = 1430 \cdot 10^3$$

$$\frac{1}{k_{et}} = \frac{1}{k_{e1}} + \frac{1}{k_{e2}} = \frac{1}{6612000} + \frac{1}{1430000}$$

$$\rightarrow k_{et} = 1175000$$

$$C = \frac{1}{1 + k_e / k_c} = \frac{1}{1 + \frac{1175000}{808000}} = 0,407$$

$$F_c = +F_{ön} + P \cdot C \quad F_e = -F_{ön} + P \cdot (1-C)$$

$$F_{sürt} = 1600 = \mu N \quad N = \frac{1600}{0,2} = 8000 \rightarrow F_e = \frac{8000}{6} = 1333 \text{ (-olmalı)}$$

$$-1333 = -F_{ön} + 1537 \cdot (1 - 0,407) \rightarrow F_{ön} = 2245 \quad F_c = +2245 + 1537 \cdot 0,407 = 2870 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_c}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 2870}{\pi \cdot 5,95^2} = 103 = \frac{\sigma_{ak}}{S} = \frac{360}{S} \rightarrow S = 3,50$$

$$\text{Anahtar sıkma momenti} \quad M_t = 0,2 \cdot F_{ön} \cdot d = 0,2 \cdot (2245 \cdot 3,50 \cdot 0,9) \cdot 7 = 9887 \text{ Nmm}$$

$$b - P_{mak} = 1537 \rightarrow \sigma_{mak} = 103$$

$$P_{min} = P/10 = 1537/10 = 154 \quad F_{cmin} = +F_{ön} + P_{min} \cdot C = 2245 + 154 \cdot 0,407 = 2308$$

$$\sigma_{min} = \frac{4 \cdot F_{cmin}}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 2308}{\pi \cdot 5,95^2} = 83 \quad \sigma_o = \frac{103 + 83}{2} = 93 \quad \sigma_g = \frac{103 - 83}{2} = 10$$

$$\sigma_{b_{eq}} = \sqrt{\left(93 + 10 \cdot \frac{360 \cdot 1,3}{0,5 \cdot 600 \cdot 0,75 \cdot 1}\right)^2 + 0} \quad \sigma_{b_{eq}} = 114 = \frac{360}{S} \quad S = 3,15$$